

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра машиностроения и транспорта



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

Е.И. Луковникова Е.И. Луковникова

«31» мая 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Б1.Б.26

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ
Технология машиностроения

Программа прикладного бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств от 11 августа 2016 г № 1000 и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» от 01.04.2019 г. № 196 для очной формы обучения для набора 2019 года

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ		Стр.
1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ		3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ		4
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ.....		4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....		4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости		4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ		5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий		5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам		6
4.3 Лабораторные работы.....		32
4.4 Семинары / практические занятия.....		32
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....		32
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ		33
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ		34
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....		34
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ		34
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....		35
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ		35
9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата		38
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ		39
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ		39
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....		40
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины		43
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе		44
Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....		45

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является – участие в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий с использованием современных информационных технологий при изготовлении машиностроительной продукции, включая использование современных информационных технологий при проектировании машиностроительных изделий, производств.

Задачами изучения дисциплины является:

- развитие способностей использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности, осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-3	способность использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности	знать: - современные информационные технологии, прикладные программные средства; уметь: - использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности; владеть: - навыками использования современных информационных технологий, прикладных программных средств при решении задач профессиональной деятельности
ПК-16	способность осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации	знать: - методы совершенствования технологий, систем и средств машиностроительных производств; уметь: - разрабатывать и внедрять оптимальные технологии изготовления машиностроительных изделий; владеть: - навыками выбора и эффективного использования материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.Б.26 «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» относится к базовой части.

Дисциплина «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как:

- «Информатика»;
- «Теория автоматического управления»;
- «Технология создания инженерных программ».

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» представляет основу для изучения дисциплин:

- «Автоматизация производственных процессов в машиностроении»;
- «Средства и методы автоматизации производства».

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Семинары / Практические занятия	Самостоятельная работа		
Очная	3	5	180	68	17	51	-	85	-	Экзамен
Заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			5
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	68	17	68
Лекции (Лк)	17	17	17
Лабораторные работы (ЛР)	51	-	51
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	85	-	85
Подготовка к лабораторным работам	70	-	70
Подготовка к экзамену в течение семестра	15	-	15
III. Промежуточная аттестация Экзамен	27	-	27
Общая трудоемкость дисциплины час.	180	-	180
зач. ед.	5	-	5

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	
1.	Общие принципы построения САПР технологических процессов	28	6	2	20
1.1.	Пути повышения качества и производительности проектирования на основе использования ЭВМ	6,5	1	0,5	5
1.2.	Модульный принцип построения САПР	6,5	1	0,5	5
1.3.	САПР как объект проектирования	7,5	2	0,5	5
1.4.	Классификация САПР ТП	7,5	2	0,5	5
2.	Автоматизированное проектирование маршрутной технологии	15	1	2	12
2.1.	Цель и исходные данные при проектировании маршрутной технологии	15	1	2	12
3.	Автоматизированное проектирование операций	16	1	2	13
3.1.	Цель проектирования и оптимизации технологических операций	16	1	2	13
4.	Проектирование переходов	59	6	33	20
4.1.	Исходные данные при проектировании переходов	8	1	2	5
4.2.	Оптимизация переходов	35	3	27	5
4.3.	Назначение режущего инструмента	8	1	2	5
4.4.	Назначение измерительных средств	8	1	2	5
5.	Организация проектирования технологических процессов на основе современных информационных технологий	35	3	12	20
5.1.	Современные информационные технологии	10	1	4	5
5.2.	Обзор САПР	15	1	4	10
5.3.	Примеры САПР	10	1	4	5
	ИТОГО	153	17	51	85

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

Раздел 1. Общие принципы построения САПР технологических процессов

Тема 1.1. Пути повышения качества и производительности проектирования на основе использования ЭВМ (Лекция-дискуссия – 1 час.)

Основными процессами в машиностроении являются механическая обработка и сборка. На их долю приходится более половины общей трудоёмкости изготовления машины. В ходе технологической подготовки производства (ТПП) на каждую деталь разрабатывается ТП её обработки, на каждую сборочную единицу разрабатывается ТП её сборки. Кроме этого в ходе ТПП разрабатываются ТП изготовления заготовок, термической обработки деталей, покраски изделий и т.д.

Современные изделия включают в себя значительное количество деталей. В этом отношении интересны данные, приведенные в таблице 1.1.

Число деталей в изделиях Таблица 1.1

Время	Примерное количество классов изделий	Среднее число различных деталей в наиболее сложных изделиях
100000 лет назад	5	1
10000 лет назад	50	10
1000 лет назад	1000	100
Настоящее	50000	10000

Фирмы Западной Европы, США, Японии и др. стран уже давно работают в условиях рынка. Наша страна только вступает на этот путь. В условиях рынка диктует потребитель. Рынок – это конкуренция. На рынке спросом пользуется только конкурентоспособная продукция. Производители продукции должны постоянно её обновлять. Т.е. количество модификаций изделий, изготавливаемых производителем, постоянно увеличивается.

Указанные выше причины указывают на то, что на современных предприятиях, в том числе и машиностроительных, значительное количество времени и средств тратится на проектирование в целом и на разработку (проектирование) ТП в частности.

Первыми двумя целями и задачами автоматизации ТПП являются следующие:

1. **Сокращение трудоёмкости ТПП и, как следствие, сокращение числа технологов.**
2. **Сокращение сроков ТПП.**

Необходимо сделать следующие замечания относительно двух первых целей и задач. Сокращение числа технологов приводит к уменьшению себестоимости изделия. А необходимость сокращения сроков ТПП обуславливается тем, что в конкурентной борьбе выстоит та фирма, которая не только выпускает конкурентоспособную продукцию, но и укладывается в минимальные сроки по подготовке этой продукции к выпуску. Если представить, что две конкурирующие фирмы одновременно решили выпускать одинаковое изделие, но первая из них затратила полгода на проектирование и производство первого образца, а у второй фирмы на это ушел год, то, конечно же, первая фирма будет находиться в более выгодном положении на рынке. Современная станкостроительная фирма считается конкурентоспособной, если время от идеи создания нового современного станка до выхода первого образца этого станка за её ворота составляет не более 1,5 лет.

Третьей целью и задачей автоматизации ТПП является **повышение качества разрабатываемых ТП**. Эта необходимость объясняется следующими причинами.

Техническое перевооружение современного машиностроительного производства осуществляется в основном по двум направлениям:

1. Замена универсального оборудования с ручным управлением, обслуживаемого рабочим высокой квалификации, оборудованием с автоматическим циклом обработки. Переналадка такого оборудования осуществляется наладчиками по тщательно разработанным операционным и наладочным картам. Возможно многостаночное обслуживание такого оборудования. В связи с увеличением дефицита квалифицированных рабочих это направление достаточно перспективно, особенно в условиях средне- и крупносерийного производства.

2. Внедрение станков с ЧПУ, обладающих гораздо большей степенью универсальности. Их переналадка занимает в десятки раз меньше время, чем в первом случае. Но и здесь необходимо тщательно прорабатывать ТП и затем составлять управляющие программы.

Необходимость тщательной проработки технологических решений в приведенных выше случаях объясняется тем, что указанное оборудование является дорогостоящим и использовать его нужно рационально.

Принцип накопления технологических знаний, реализованный во многих современных САПР ТП, позволяет разрабатывать качественные ТП. Знания опытных технологов, накапливаемые в САПР ТП, сами ТП, разработанные ими, которые могут быть взяты за основу при разработке новых ТП, позволяют повысить общий уровень ТПП.

При ручном проектировании технолог сравнивает в уме ряд вариантов разрабатываемого ТП (состав и содержание операций, варианты станков, инструментов и т.д.) и интуитивно выбирает лучшие на его взгляд решения. Подробного экономического обоснования не производится за неимением времени. Применение ЭВМ на базе соответствующих математических моделей позволяет находить оптимальные технологические решения.

Кроме этого с применением САПР практически исключаются «человеческие» ошибки. Если компьютер работает на основе качественного программного обеспечения, технически исправен, то при вводе одинаковых входных данных любое количество раз выдаются правильные результаты.

Тема 1.2. Модульный принцип построения САПР (Лекция-дискуссия – 1 час.)

Значительная часть современных САПР состоит из нескольких модулей: сборки, механообработки, управления инженерными данными и т.п. Их объединяет общая методология и инструментальные средства. Высокая степень интеграции модулей конструирования и технологической подготовки производства обеспечивает преобразование графической информации об объекте в табличную, используемую при технологическом проектировании. Геометрические объекты, имеющие математическое описание, аппроксимируются с заданной точностью кривыми и поверхностями.

Объединение модулей конструкторских и технологических разработок в единую САПР снижает стоимость и уменьшает время выхода новой продукции на рынок, позволяет конструировать детали с учетом их технологичности и используемого материала (пластмасса, металлический лист).

Модульная архитектура САПР облегчает расширение системы и адаптивное ее в соответствии с требованиями пользователя, позволяет приобретать только необходимые компоненты. Многие САПР снабжены контекстно-зависимыми справочниками и собственными базами данных или предлагают интерфейс с существующими базами данных. Использование языков программирования позволяет вам создавать собственные специализированные приложения.

История создания систем

Рассматривая историю можно выделить следующие этапы развития проблемы автоматизации ТПП.

1 этап (1960...1970 гг.) характеризуется выполнением экспериментальных работ, показывающих возможности решения задач технологии с помощью ЭВМ.

2 этап (1970...1980 гг.). В эти годы под руководством группы ученых: Н.Г.Бруевича, Г.К.Горанского, Н.М.Капустина, С.П.Митрофанова, В.В.Павлова, В.Д.Цветкова были созданы научные школы, поднявшие разработку теоретических основ автоматизации

ТПП на мировой уровень. На базе теоретических исследований в ведущих по данной проблеме организациях (ИТК (Минск), НИАТ (Москва), ЛИТМО (Ленинград), ЦНИТИ (Москва), МАИ (Москва), МВТУ (Москва) и ряд других) были разработаны и внедрены комплексы автоматизированных систем технологического назначения. Системы создавались сначала для ЭВМ серии «Минск», и далее, по мере смены поколений ЭВМ, был осуществлен переход на ЕС ЭВМ. В разработанных системах преобладали САПР ТП и САПР средств технологического оснащения (САПР СТО).

3 этап (1980...1990 гг.) характеризуется расширением фронта работ по автоматизации решения технологических задач. Этому способствовали два обстоятельства:

- проведение массовых работ по проектированию и внедрению АСУП на предприятии с различным характером производства, требовало автоматизации решения отдельных задач технологического проектирования;
- проведение больших работ по стандартизации процедур и программ обработки информации и появление работ по формализации алгоритмов принятия решений в технологических задачах.

4 этап (с 1990 г.) характеризуется работами по созданию комплексных систем АСПП, основанных на использовании единой системы кодирования и единого математического обеспечения. Современные САПР ТП, реализованные на ПЭВМ и внедряемые на промышленных предприятиях, представляют собой, по существу, текстовые редакторы, дополненные в лучшем случае классификаторами для более быстрого заполнения технологических карт и модулями для поиска технологического оснащения. Экономическая эффективность таких систем пока остается относительно невысокой.

Информатизация российского машиностроения

Потребности отечественного машиностроения в данный момент формулируются несколько иначе, в первую очередь ввиду явного технологического отставания от Запада. Говоря о тенденциях автоматизации российских предприятий, необходимо учитывать ряд ключевых проблем, актуальных для отрасли.

Во-первых, это неадекватное, по мировым стандартам, ИТ-оснащение. Недостаточная информационно-технологическая поддержка процессов проектирования и подготовки производства мешает предприятиям, даже располагающим достаточными стартовыми ресурсами, довести до серийного производства и вывести на рынок новые изделия. Тем более это препятствует повышению конкурентоспособности российских производителей на международном рынке.

Серьезным барьером в развитии предприятий отечественного машиностроения долгое время оставалась инфраструктурная необеспеченность, которая в конечном счете препятствует внедрению информационно-технологических инноваций. Сейчас, ввиду несовершенства планирования и доступности разнообразного «железа», широко распространена ситуация несоответствия инфраструктуры текущему состоянию и перспективам развития бизнеса. Так, предприятию может приобрести мощные серверы при отсутствии адекватной коммуникационной среды и плана развертывания сетевых приложений. Прежде чем говорить о приближении к западным стандартам организации бизнес-процессов, на предприятиях необходимо создать сбалансированную техносреду, подчиненную целям основного бизнеса. Ее главные составляющие — это вычислительные средства (включая серверы, локальные станции, базовое системное ПО), инфраструктура внутренних и внешних коммуникаций (локальные и распределенные сети, телефония), периферийные устройства, средства обеспечения бесперебойного электроснабжения, системы кондиционирования и вентиляции помещений различного назначения, комплексные системы обеспечения безопасности объектов.

Во-вторых, помимо ИТ-инфраструктурной недостаточности для отечественных предприятий по-прежнему актуальна проблема локально-очаговой автоматизации. До сих пор распространена ситуация, когда инженеры решают свою частную задачу, добиваясь автоматизации отдельных рабочих мест. А комплексной задачи — автоматизировать операционные процессы в масштабах предприятия — при этом просто не ставится. Подобный «половинчатый» подход, хотя и стоит ступенью выше традиционного «ручного труда», явно не повышает конкурентоспособность предприятия и не позволяет совершить качественный скачок в развитии.

В-третьих, проблемой становится неэффективное использование ресурсов. Промышленные предприятия представляют собой сложные системы, ежедневно проводящие множество разнородных хозяйственных и финансовых операций. Контролировать их эффективность, а также представлять адекватную картину процессов, в соответствии с которой можно планировать сокращение производственных затрат и повышение эффективности использования ресурсов, позволяет интегрированная система управления ресурсами. С недавнего времени на рынке активно обсуждают принципиально новые возможности оптимизации использования ресурсов за счет новых моделей организации бизнес-процессов, например, электронной коммерции. Решение этих задач требуют профессиональной «отточности» методологий и инструментальных средств, освоенных и реализуемых интегратором.

В-четвертых, отечественные предприятия часто имеют недостаточно ясные представления о финансовом состоянии своего бизнеса. Адекватную поддержку процессам принятия управленческих решений, которые требуют комплексного понимания всех деталей финансового положения предприятия, обеспечивают современные системы финансового анализа.

В-пятых, предприятиям пока не хватает знаний и опыта в применении современных методов менеджмента. Переходя к западным стандартам управления проектами, машиностроители стремятся обучить специалистов новым методам работы, однако отрасли пока не хватает профессиональных менеджеров, ориентированных на новые стратегии развития. К провалу проектов, которые являются по сути набором тактических шагов для достижения глобальных стратегических целей, чаще всего приводит отсутствие на предприятии сформированной культуры управления проектами.

Ключевая установка российских машиностроительных предприятий на данный момент — комплексная автоматизация производства. «Лоскутная» автоматизация различных областей деятельности постепенно перестает быть востребованной. Убеждение, что специфика конкретного производства требует разработать ПО для решения определенных частных задач и обеспечить его интеграцию с учетной системой в целом, вытесняется другим, согласно которому действительный эффект от внедрения ИТ обеспечивают только интегрированные комплексы. Именно они позволяют специалистам и руководителям видеть ключевые ресурсы, вовлеченные в процесс разработки, и таким образом организовывать совместную работу команды самого предприятия и партнеров.

В рамках создания единой информационной среды на машиностроительном предприятии реализуется концепция CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support, непрерывность поставок и поддержки жизненного цикла продукции). За счет интеграции ERP-системы с инженерно-конструкторскими комплексами CAD/CAM/PLM/PDM создается единая база информации, включающая данные о составе изделий, временных и материальных затратах, технологических маршрутах, и др. Подобные инновационные решения позволяют оптимизировать производственные процессы, за счет чего удается сократить сроки выхода на рынок новой продукции. Кроме того, интегрированный комплекс позволяет:

- составлять долговременные прогнозы потребностей в материалах и ресурсах на основе накопленных данных;
- планировать сиюминутные потребности в материалах и оборудовании;
- рассчитывать себестоимость продукции, планировать загрузку мощностей;
- обеспечивать прозрачность и управляемость всего цикла конструирования;
- создать единую базу информации (о составе изделий, нормах расхода материалов, справочные базы данных и пр.);
- управлять замкнутым производственным циклом, включающим в себя подготовку производства, его планирование и оперативное управление;
- осуществлять учет материалов и комплектующих в производстве;
- осуществлять финансовый учет на производстве.

Помимо комплексных систем автоматизации, машиностроительные предприятия сейчас приходят к необходимости создания коллаборационных порталов с тем, чтобы представлять потенциальным клиентам, партнерам или заказчикам наиболее актуальную и достоверную информацию — о предлагаемых продуктах и услугах, ценах, производственных мощностях, финансовую отчетность, контакты. Подобного рода данные, распространяемые через веб, способствуют формированию положительного имиджа и служат своего рода маркетинговым стимулом продвижения на рынке. С удачным примером подобного портала, созданного в российском

машиностроении, можно ознакомиться на примере сайта Чебоксарского Научно Производственного приборостроительного предприятия «ЭЛАРА». Это же предприятие является показательным примером использования современных ERP-систем в российском машиностроении.

Другие актуальные тенденции на российском рынке автоматизации машиностроения:

- «круговая» модель автоматизированного предприятия, адекватная его обобщенной структуре, вместо известной пирамиды;
- концепция «рациональной автоматизации», адекватная распределению и эволюции ресурсов разного рода (отход от «стандарта автоматизации»);
- новые принципы построения «нелинейных» систем автоматизации с использованием эволюционных теорий вместо линейных централизованных;
- новые подходы к интеграции систем автоматизации, основанные на «фазовых нелинейных переходах» информации в знания, отказ от стратегии интеграции на уровне данных.

Тема 1.3. САПР как объект проектирования (Лекция-дискуссия – 2 час.)

Проектирование – процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще не существующего объекта, на основе первичного описания данного объекта и (или) алгоритма его функционирования... (ГОСТ 22487).

Автоматизированное проектирование – проектирование, при котором отдельные преобразования описаний объекта и (или) алгоритма его функционирования..., осуществляются взаимодействием человека и ЭВМ (ГОСТ 22487).

Функции между человеком и ЭВМ должны быть рационально распределены. Человек должен решать задачи творческого характера, а ЭВМ – задачи, допускающие формализованное описание в виде алгоритма рутинного характера.

Преимуществом автоматизированного проектирования является возможность проводить на ЭВМ эксперименты на математических моделях. Это значительно сокращает дорогостоящее физическое моделирование. Математические модели при этом должны удовлетворять требованиям универсальности, точности, адекватности и экономичности.

САПР – комплекс средств автоматизации проектирования, взаимосвязанных с необходимыми подразделениями проектной организации или коллективом специалистов (пользователей системы), выполняющий автоматизированное проектирование (ГОСТ 22487).

Объектами проектирования в САПР могут быть здания, сооружения, металлорежущие станки и т.д., в САПР ТП – технологические процессы.

Смысл процесса проектирования в любой САПР независимо от объекта проектирования один и тот же: получить в соответствие с замыслом такую информационную систему – модель, которая позволяет создать систему – оригинал, полностью соответствующую замыслу.

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

- формы и геометрических параметров;
- структуры;
- временных и пространственно-временных отношений;
- функционирования;
- состояний и значений свойств объекта;
- имитационные.

Модели формы и геометрических параметров – это плоские и объёмные изображения объектов проектирования, выполненные в соответствии с правилами ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП (чертежи, схемы, карты эскизов и т.д.).

Модели структуры – это кинематические, гидравлические, электронные и др. схемы. Для ТП – это его структура, представленная, например, в виде маршрутной, операционной карты, а в процессе проектирования – в виде графа.

Модели временных и пространственно-временных отношений – это циклограммы, сетевые графики и т.д.

Модели функционирования – это, например, динамические и кинематические схемы, выполненные в режиме анимации.

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, проведения численных экспериментов (для технологического проектирования – это математические модели для расчета припусков и межпереходных размеров, режимов резания и т.д.).

Имитационные (статистические) модели позволяют, учитывая большую совокупность случайных факторов, проигрывать (имитировать) на ЭВМ многочисленные и разнообразные реальные ситуации, в которых может оказаться будущий объект проектирования.

При создании и приобретении САПР и их составных частей необходимо руководствоваться следующими **принципами**:

- системного единства;
- совместимости;
- типизации;
- развития.

Принцип системного единства обеспечивает целостность системы и иерархичность проектирования отдельных частей и объекта в целом.

Принцип совместимости обеспечивает совместное функционирование составных частей САПР и сохраняет открытой систему в целом.

Принцип типизации предусматривает разработку и использование типовых и унифицированных элементов САПР. Типизируют элементы, имеющие перспективу многократного использования.

Принцип развития дает возможность пополнения, совершенствования и обновления составных частей САПР.

Современные САПР, в том числе и САПР ТП базируются на новых информационных технологиях. Вследствие этого для них характерен ряд признаков:

1. **Объектно-ориентированное взаимодействие человека и ЭВМ.** Пользователь работает в режиме манипулирования изображениями заготовок, деталей, сборочных единиц, со схемами, текстом и т.д. в реальном масштабе времени. В основу манипулирования заложено программирование соответствующих процедур, выполняемых ЭВМ. Человек видит информационные объекты, получаемые посредством вывода информации, и воздействует на них за счет средств ввода информации.

2. **Сквозная информационная поддержка на всех этапах обработки информации на основе интегрированной базы данных.** База данных предусматривает единую унифицированную форму представления, хранения, поиска, отображения, восстановления и защиты информации.

3. **Безбумажный процесс обработки информации.** Все промежуточные варианты и необходимые численные данные записываются на машинных носителях и доводятся до пользователя через экран монитора. На бумаге фиксируется только окончательный вариант документа: технологическая карта, карта эскизов и т.д.

4. **Интерактивный режим решения задач, выполняемый в режиме диалога пользователя и ЭВМ.** Новые информационные технологии требуют высокого интеллектуального уровня, профессиональной и психологической подготовки пользователя. Пользователь должен досконально знать принципы и все нюансы работы САПР, её возможности, уметь свободно пользоваться средствами общения с компьютером, квалифицированно ставить задачи и осмысливать результаты решения.

Состав и структура САПР

Составными частями САПР являются подсистемы. В каждой подсистеме решается функционально законченная последовательность задач.

Любая САПР состоит из проектирующих подсистем и обслуживающих подсистем.

Проектирующие подсистемы выполняют процедуры и операции получения новых данных. Они имеют объектную ориентацию и реализуют определенный этап проектирования или группу взаимосвязанных проектных задач. Примеры: подсистемы проектирования ТП сборки, механической обработки, расчета режимов резания и т.д.

Обслуживающие подсистемы имеют общесистемное применение и служат для обеспечения функционирования проектирующих подсистем, а также для оформления, передачи и вывода результатов проектирования. Примеры: система управления базой данных, подсистемы ввода-вывода данных, документирования и т.д.

Виды обеспечения САПР

При разработке, внедрении, эксплуатации любой САПР, в том числе и САПР ТП следует иметь в виду, что эта работа требует всестороннего подхода к данной проблеме. Поэтому необходимо рассматривать, по крайней мере, следующие виды обеспечения (по-другому – стороны, грани) САПР:

- техническое;
- программное;
- методическое;
- математическое;
- информационное;
- лингвистическое;
- организационное.

Техническое обеспечение САПР

Основу технического обеспечения САПР составляет, как правило, персональный компьютер. Конструктивно он представляет собой системный блок, состоящий из корпуса с блоком питания, в котором установлены: материнская плата с процессором, оперативной памятью, видеокартой (видеооплатой), при необходимости звуковой картой и сетевой картой; жёсткий диск (винчестер); привод для компакт-дисков; привод для дискет. Кроме этого в состав компьютера обязательно входит монитор (дисплей), клавиатура, манипулятор «мышь». Это основные устройства компьютера. Кроме них применяются периферийные устройства: принтер, плоттер, звуковые колонки, микрофон, цифровой фотоаппарат, цифровая видеокамера.

Пример обозначения параметров компьютера:

Intel Pentium 4 – 1700 MHz/128 Mb DDR/40 Gb HDD/32 Mb Video/52x CD-ROM/FDD 1,44 Mb/Монитор 17”/Клавиатура/Мышь.

Здесь: Intel Pentium 4 – тип процессора; 1700 MHz – его тактовая частота в мегагерцах; 128 Mb – объём оперативной памяти в мегабайтах; DDR – тип оперативной памяти; 40 Gb – объём винчестера в гигабайтах; 32 Mb – объём видеопамати (видеокарты); 52x CD-ROM – наличие и характеристика привода для компакт – дисков; FDD 1,44 Mb – наличие привода для дискет и объём дискеты; Монитор 17” – наличие монитора с размером экрана 17 дюймов по диагонали; Клавиатура/Мышь – наличие клавиатуры и мыши.

На практике 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** (сообщениями электронной почтой, файлами текстовых документов, чертежей и программ);
- **разделение ресурсов компьютеров**, т.е. совместное использование баз данных и программ, хранящихся на любом из компьютеров сети (либо на удаленном мощном компьютере – сервере с жёстким диском большой ёмкости);
- **вывод информации**, например, на дорогостоящий лазерный принтер или плоттер, подключенный только к одному из компьютеров сети.

ЛВС состоит из следующих основных элементов:

- файлового сервера;
- рабочих станций;
- сетевой операционной системы;
- несущей среды (кабелей), сетевых карт и других аппаратных средств.

Сервер – это мощная ПЭВМ, на жёстком диске которой хранятся прикладные программы, базы данных и т.д., необходимые для работы пользователей сети. Сервер, предназначенный только для обслуживания сетевых запросов, называется выделенным.

Рабочие станции – подключенные к сети ПЭВМ, на которых работают отдельные пользователи.

Каждая рабочая станция и сервер в ЛВС должны иметь специальное программное обеспечение: сетевую оболочку или операционную систему.

Кабель в ЛВС определяет физическую среду передачи информации. Существует три типа кабелей:

1. **Витая пара** (физически этот кабель состоит из четырех витых пар в оплётке, одна пара используется для передачи информации в одном направлении, вторая – в другом направлении, две оставшиеся пары предназначены для передачи служебных сообщений по сети, на практике иногда они не используются).
2. **Коаксиальный** (типа телевизионного).
3. **Волоконно-оптический** (физически это кварцевая нить в полимерной оплётке, оплётка предназначена для придания гибкости кабелю; передача информации по кабелю производится световыми излучениями с разной длиной волны, за счёт чего образуется ряд информационных каналов).

Скорость передачи информации – важнейший показатель эффективности сети, она измеряется в Мбит/с, Гбит/с. Скорость передачи информации по витой паре составляет от 10 до 100 Мбит/с, по коаксиальному кабелю – от 0,5 до 10 Мбит/с, по волоконно-оптическому теоретически – сотни Гбит/с, практически – около 2 Гбит/с (за счёт более низкой пропускной способности приёмных и передающих устройств).

В ЛВС компьютеры располагаются сравнительно недалеко друг от друга. Для связи на большом расстоянии можно использовать аппаратуру обычных телефонных линий, которая, правда, поддерживает относительно низкую скорость передачи информации. Дополнительным устройством при этом является модем. Когда с компьютера информация передается по телефонной линии, передаваемые сигналы подвергаются **модуляции**, а когда принимается – **демодуляции**. Отсюда название – **модем**. Назначение модема – замена двоичного сигнала компьютера (сочетания 0 и 1) аналоговым сигналом с частотой, соответствующей рабочему диапазону телефонной линии.

Телефонные сети начинают переводиться на цифровые сигналы, совместимые с сигналами компьютеров. Поэтому необходимость в модемах в перспективе отпадёт.

Программное обеспечение (ПО) САПР – это совокупность машинных программ и сопутствующих им эксплуатационных документов, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования.

ПО подразделяется на общее и прикладное (специальное). В свою очередь, общее ПО можно подразделить на общесистемное ПО и языки (среды, студии) программирования.

Общесистемное ПО служит для организации функционирования технических средств. Его основу составляет операционная система.

Операционная система – это комплекс программ, который загружается при включении компьютера. Она производит диалог с пользователем, осуществляет управление компьютером, его ресурсами (оперативной памятью, местом на дисках и т.д.), запускает прикладные программы на выполнение и т.д.

Методическое обеспечение – это комплекс документов, в котором зафиксированы основные принципы построения системы. К ним относятся также технические и рабочие проекты, а так же эксплуатационную документацию.

Математическое обеспечение – это алгоритмы, используемые для решения задач САПР ТП.

Информационное обеспечение САПР – это совокупность информационного фонда и средств его ведения, т.е. средств создания,

реорганизации данных и обеспечения доступа к ним с использованием ЭВМ.

В состав информационного фонда входят:

- нормативно-справочная информация (сведения о заготовках, типовых маршрутах обработки, станках, инструментах и т.д.);
- записываемые временно данные, которые являются результатом функционирования одной подсистемы САПР и которые затем вводятся в другую подсистему;
- программные модули отдельных подсистем, подпрограммы для разработки УП для станков с ЧПУ;
- чертежи инструментов и приспособлений, операционные эскизы;
- шаблоны для ввода информации и оформления документов, например, технологических карт и т.п.

Лингвистическое обеспечение – совокупность языков, используемых в процессе разработки и эксплуатации САПР.

Под «языком» понимается любое средство общения, любая система символов и знаков для представления и обмена информацией.

Лингвистическое обеспечение образуется следующими языками:

- программирования;
- управления;
- проектирования.

Языки программирования необходимы для создания программного обеспечения при разработке САПР. В принципе языки программирования относят к программному обеспечению САПР. Здесь мы их подробно рассматривать не будем, информация о них приведена в специальной литературе. Напомним лишь, что к наиболее распространенным языкам программирования относятся Pascal, Fortran, Basic, Си (различных версий). В настоящее время на их базе разработаны и повсеместно используются среды программирования такие, как, соответственно, Delphi, Visual Fortran, Visual Basic, Visual Си (также различных версий).

Языки управления служат для управления ЭВМ, периферийными устройствами. Это операционная система Windows, драйверы принтеров и т.д. Эти языки также относят и к программному обеспечению САПР.

Языки проектирования ориентированы на пользователей – проектировщиков и предназначены для эксплуатации САПР, в том числе и САПР ТП.

Организационное обеспечение – это комплекс документов, в котором зафиксированы функции отдельных подразделений и взаимодействие между ними, а также права и обязанности лиц, эксплуатирующих или сопровождающих САПР ТП, кроме того, в них фиксируется ответственность лиц за неправильные решения и за несанкционированный доступ к информации.

Перспективы развития САПР ТП

Автоматизированное проектирование ТП на базе современных информационных технологий требует существенного изменения принципов построения САПР ТП и ведет к созданию САПР ТП нового поколения. Перспективы развития таких САПР ТП целесообразно рассмотреть по следующим направлениям:

Системное направление

САПР ТП рассматривается как подсистема ТПП, поэтому необходимо разрабатывать эффективные способы взаимодействия с этими системами. Для этого целесообразно использовать теорию иерархических систем и выбрать методы координации между подсистемами для достижения как локального минимума (применительно к отдельным системам), так и глобального применительно ко всей системе ТПП.

Системный подход осложнен большими колебаниями уровня автоматизации решения технологических задач, так как еще многие задачи решаются вручную, и в то же время существуют задачи, решение которых полностью автоматизировано. Системный подход позволяет снизить затраты на создание и эксплуатацию САПР ТП за счет согласованного взаимодействия между компонентами систем и системной увязки между всеми видами их обеспечения.

Методическое направление

В САПР ТП должна быть реализована смешанная методика проектирования, позволяющая использовать как метод синтеза ТП, так и проектирование на основе унифицированной технологии. Кроме того, САПР ТП должна допускать создание ТП на разных уровнях автоматизации проектирования.

Необходимо отметить, что часть технологических задач относится к творческим задачам, слабо поддающимся формализации, поэтому алгоритмы решения таких задач являются приближенными и субъективными. Определение закономерностей, существующих в технологии как науке, нахождение методов решения технологических задач, уточнение имеющихся математических моделей представляют собой главные проблемы автоматизации проектирования ТП. Последовательное решение этих проблем позволит расширить область применения САПР ТП, что особенно важно для сложных деталей и технологий.

Функциональное направление

Средой проектирования САПР ТП должна быть PDM-система, использование которой позволяет организовать эффективное управление и контроль процесса проектирования ТП.

Информационное направление

Для доступа к электронному архиву САПР ТП должна использовать PDM-систему, ориентированную на архитектуру «клиент-сервер», при этом доступ к данным должен основываться на использовании «единого информационного пространства» и модели проблемной среды. Единое информационное пространство рассматривается как основа для интеграции САПР ТП с другими подсистемами АСТПП.

Программно-математическое направление

Современная САПР ТП должна иметь мощный пакет прикладных программ, позволяющих использовать третий уровень автоматизации проектирования ТП для широкого круга деталей и технологий.

Для принятия решений на основе алгоритмов, хранимых в базе знаний, необходимо иметь соответствующие инструментальные средства. Примером таких средств является табличный процессор.

Кроме того, САПР ТП должна иметь инструментальные средства не только принятия решений на основе баз данных и знаний, но иметь и эффективные инструментальные средства для сопровождения и адаптации модели проблемной среды.

Организационное направление

САПР ТП должна быть ориентирована на коллективную работу над ТП. Одновременный доступ к параметрической модели ТП предоставляется с помощью PDM-системы. Параллельно с проектированием ТП разрабатываются трёхмерные модели операционных эскизов, и выполняется конструирование средств технологического оснащения. При необходимости, на базе виртуальных рабочих мест проводятся консультации по сложным вопросам со специалистами высокой квалификации. Для организации виртуальных рабочих мест PDM-система должна иметь выход в Internet.

Web-технология дает возможность, во-первых, организовать доступ к удаленным базам данных, а во-вторых, пересылка документов по Internet позволяет организовать совместную работу над ТП на основе удаленных (виртуальных) рабочих мест. Использование виртуальных рабочих мест очень важно для малых фирм, которые могут привлекать высококвалифицированных специалистов для разового решения сложных конструкторско-технологических задач.

Для контроля процесса проектирования технологии САПР ТП должна быть ориентирована на PDM-систему, имеющей средства для автоматизированного ведения документооборота.

Вывод: создаваемые в ближайшие годы САПР должны быть достаточно функционально развиты и обеспечивать снижение стоимости и трудоёмкости разработки ТП; повышать качество проектируемых процессов, а также согласованно функционировать как подсистема с другими подсистемами АСТПП; иметь инструментальные средства для адаптации к изменяющимся условиям производства, а так же иметь инструментальные средства для организации эффективного управления и контроля процесса проектирования ТП.

Тема 1.4. Классификация САПР ТП (Лекция-дискуссия – 2 час.)

САПР ТП можно классифицировать по ГОСТ 25501.8-80.

Классификация нужна для анализа систем и сравнения их между собой. На основе такого анализа выбирается система, наиболее подходящая для данного предприятия.

Результаты классификация автоматизированных систем по этому стандарту выражаются в виде комплексного кода, который имеет вид:

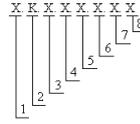


Рис. 1.1. Комплексный код

1. Классификация по типу объекта проектирования:

- 1 – САПР изделий машино- и приборостроения;
- 2 – САПР ТП в машино- и приборостроении;
- 3 – САПР объектов строительства;
- 4 – САПР организационных систем.

2. По разновидности объекта проектирования:

Этот код условно обозначен как «К». Он может иметь различное число знаков и является иерархическим кодом, который образуется в соответствии с отраслевыми классификаторами. Знаки 1 и 2 зависят друг от друга, следовательно, являются частью иерархической классификации.

3. По сложности объекта проектирования:

- 1 – САПР простых объектов (количество составных частей до 100);
- 2 – САПР средней сложности (количество составных частей до 1000);
- 3 – САПР сложных объектов (количество составных частей до 10000);
- 4 – САПР высокой сложности (количество составных частей до 1000000).

4. По уровню автоматизации:

- 1 – низкоавтоматизированная (25% процедур автоматизировано);
- 2 – среднеавтоматизированная (от 25% до 50% процедур автоматизировано);
- 3 – высокоавтоматизированная (свыше 50% процедур автоматизировано).

5. По комплексности автоматизации проектирования:

- 1 – одноэтапная автоматизация (автоматизирован лишь один этап);
- 2 – многоэтапная автоматизация (автоматизировано несколько этапов);
- 3 – комплексная автоматизация (автоматизированы все этапы).

6. По характеру выпускаемых документов:

- 1 – САПР текстовых документов;
- 2 – САПР графических документов;
- 3 – САПР документов на машинных носителях;
- 4 – САПР документов на фото носителях (микрофильмы, фотошаблоны и т.д.);
- 5 – САПР на выпуск документов двух типов;
- 6 – САПР на выпуск документов на носителях более чем двух типов.

7. По количеству выпускаемых документов:

- 1 – низкая производительность (до 100000 документов в год, на ф. А4);
- 2 – средняя производительность (до 1000000 док. в год, на ф. А4);
- 3 – высокая производительность (свыше 1000000 док. в год, на ф. А4).

8. По количеству уровней в структуре технического обеспечения:

- 1 – одноуровневые САПР;
- 2 – двухуровневые САПР;
- 3 – трехуровневые САПР.

САПР в компьютерно-интегрированном производстве

Одними из важнейших функций инженера являются проектирование изделий и ТП их изготовления. В связи с этим САПР принято делить, по крайней мере, на два основных вида:

- САПР изделий (САПР И);
- САПР ТП их изготовления.

Ввиду того, что на Западе сложилась своя терминология в области автоматизированного проектирования, и она часто используется в публикациях, будем рассматривать и «западные» и отечественные термины.

САПР изделий. На Западе эти системы называют CAD (Computer Aided Design – проектирование с помощью компьютера). Эти системы выполняют объемное и плоское геометрическое моделирование, инженерные расчеты и анализ, оценку проектных решений, изготовление чертежей.

Научно-исследовательский этап САПР иногда выделяют в самостоятельную **автоматизированную систему научных исследований (АСНИ)** или, используя западную терминологию, автоматизированную систему инжиниринга – CAE (Computer Aided Engineering – изобретающая машина).

САПР технологии изготовления. В России эти системы принято называть САПР ТП или АС ТППП (автоматизированные системы технологической подготовки производства). На Западе их называют CAPP (Computer Automated Process Planning). С помощью этих систем разрабатывают технологические процессы и оформляют их в виде маршрутных, операционных, маршрутно-операционных карт, проектируют технологическую оснастку, разрабатывают УП для станков с ЧПУ.

Более конкретное описание технологии обработки на оборудовании с ЧПУ (в виде кадров УП) вводится в **автоматизированную систему управления производственным оборудованием (АСУП)**, которую на Западе принято называть CAM (Computer Aided Manufacturing). Здесь Manufacturing – производство, изготовление. Техническими средствами, реализующими данную систему, могут быть системы ЧПУ станков, компьютеры, управляющие автоматизированными станочными системами.

Помимо этого различают: **систему производственного планирования и управления PPS** (Produktionsplaungs system), что соответствует термину АСУП (автоматизированная система управления производством), а также **систему управления качеством CAQ** (Computer Aided Quality Control). В России используется термин АСУК (автоматизированная система управления качеством).

В настоящее время основной тенденцией в достижении высокой конкурентоспособности западных и российских предприятий является переход от отдельных замкнутых САПР и их частичного объединения к **полной интеграции** технической и организационной сфер производства. Такая интеграция связывается с внедрением модели компьютерно-интегрированного производства (КИП) или в западной версии CIM (Computer Integrated Manufacturing) (рис. 1.2.).

Автоматизация ведения документооборота необходима не только для ТПП, но и для предприятия в целом, поэтому в настоящее время разработано большое количество систем, получивших название **PDM-системы (Product Data Management – системы управления данными**

о продукте (об изделии)).

Основным отличием PDM-системы от EDM-системы является наличие средств маршрутизации прохождения документов. В PDM-системах точкой фокуса является не документ, а работа, которую необходимо выполнить исполнителю в определенные сроки с использованием одного или комплекта документов. Работы объединяются в так называемый «деловой процесс», который в общем случае отображается графом типа «сеть». Поэтому основной объект, с которым манипулирует PDM-система это карта делового процесса, содержащая последовательность обработки информации в рамках какой-либо подсистемы, либо предприятия в целом.

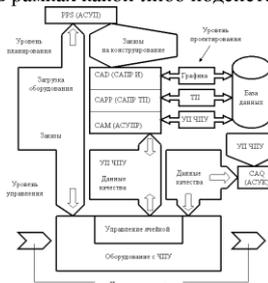


Рис. 1.2. Информационная структура КИП

Внедрение КИП значительно сокращает общее время прохождения заказов за счет:

- уменьшения времени передачи заказов с одного участка на другой и уменьшения времени простоя при ожидании заказов;
- перехода от последовательной к параллельной обработке;
- устранения или существенного ограничения повторяемых ручных операций подготовки и передачи данных (например, машинное изображение геометрических данных можно использовать во всех отделах, связанных с конструированием изделий).

Уровни автоматизации

Современные САПР являются сложными системами, принципиальными особенностями которых является необходимость их адаптации к условиям предприятий, на которых они внедряются. **Адаптация** к условиям предприятий заключается в следующем:

- формирование базы данных для технологического оснащения;
- формирование базы данных для заготовок, припусков и режимов резания;
- формирование базы данных для типовых и групповых ТП;
- формирование базы знаний для фиксации особенностей ТП данного предприятия;
- настройка САПР на те программные модули, которые будут использоваться на данном предприятии;
- настройка САПР на те технологические документы, которые применяются на данном предприятии.

Первый уровень автоматизации – автоматизация низкого уровня, при которой автоматизировано только оформление технологической документации (маршрутные, операционные карты и другие документы). Бланк документа выводится на экран монитора и технолог в режиме диалога заполняет этот документ. На первых этапах внедрения параллельно с эксплуатацией САПР с низким уровнем проектирования формируется база данных с технологическим оснащением.

Второй уровень автоматизации – автоматизация среднего уровня, который достигается, когда базы данных частично сформированы и начинают работать поисковые и расчетные модули. Чем больше заполнена база данных, тем эффективнее начинает работать САПР. Работа поисковых модулей основана на использовании информационно-поисковой системы (ИПС), при этом условие поиска технолог вводит в режиме диалога. Условия поиска, которые являются стабильными, хранятся в базе знаний.

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

Третий уровень автоматизации – автоматизация высокого уровня, который достигается, при заполнении базы знаний. В этом случае становится возможным автоматизированное принятие сложных логических решений, связанных, например, с выбором структуры процесса и операций, назначением технологических баз и другие подобные задачи. Процесс принятия таких решений полностью автоматизировать не удастся, поэтому режим диалога остается и на третьем уровне автоматизации.

При низком уровне автоматизации технолог заполняет бланк технологической карты на экране монитора, сам проектирует технологический процесс, т.е. сам выполняет переработку конструкторской информации в технологическую и заносит технологическую информацию в технологическую карту. Объем вводимой конструкторской информации незначителен.

На среднем уровне автоматизации проектирования объем вводимой конструкторской информации резко увеличивается. Например, для поиска технологического оснащения необходимо иметь информацию о конструктивных элементах детали. Поэтому на этом уровне автоматизации проектирования ТП осуществляется кодирование чертежа детали и формирование параметрической модели детали (ПМД). Расчетные задачи так же требуют информацию о детали и операционных заготовках. Объем вводимой технологической информации на этом уровне уменьшается, так как часть конструкторской информации перерабатывается в технологическую.

На высоком уровне автоматизации для проектирования ТП требуется еще более подробная информация о детали, т.е. нужно вводить ПМД с наибольшей степенью детализации, в то же время объем вводимой технологической информации на этом уровне еще больше уменьшается.

Вывод: использование концепции последовательной автоматизации позволяет:

- осуществить быстрое внедрение САПР ТП в ТПП на предприятии;
- выполнять параллельно адаптацию САПР ТП к условиям предприятия путем формирования баз данных и знаний;
- последовательно повышать уровень автоматизации проектирования ТП;
- по мере повышения уровня автоматизации уменьшать трудоёмкость создания ПМД путём интеграции с САПР конструирования изделий.

Формирование содержания перехода

После того как определены основные параметры процесса, необходимо сформировать содержание перехода, т.е. текст, отражающий действия, выполняемые на переходе. По ГОСТ 3.1702-77 допускается полная или сокращенная форма записи перехода. Полная форма записи используется при отсутствии операционных эскизов, сокращенная – при их наличии.

Пример полной записи: «Сверлить 4 сквозных отверстия с последующим зенкованием фасок, выдерживая $d = 10^{+0,2}$, $d1 = 40 \pm 0,05$, угол $90^\circ \pm 0,5$ и фаски $1 \times 45^\circ$ согласно чертежу».

Сокращенная запись: «Сверлить 4 отв. $d = 10^{+0,2}$, зенковать фаски $1 \times 45^\circ$ согласно чертежу». При наличии операционного эскиза размеры обработанной поверхности можно не вводить и указывать лишь номер поверхности. Например, «Подрезать торец 2 предварительно».

Содержание перехода может занимать 100...300 символов и является сложно организованным сообщением, ввод которого является трудоёмкой процедурой. На первом уровне автоматизации при вводе в режиме диалога содержания перехода возможно применение двух подходов:

- ввод кодового обозначения перехода;
- ввод текста перехода с использованием комплекса классификаторов.

При первом подходе вместо текста перехода вводятся кодовые обозначения по ГОСТ 3.1702-79. В этом стандарте даны два типа кодовых обозначений перехода: полный, занимающий 15 позиций, и сокращенный, требующий 7 позиций. Содержание перехода предварительно кодируется и затем вводится в ЭВМ. Ввод выполняется быстро, однако предварительное кодирование весьма трудоёмко.

После ввода кодов, он раскодируется и автоматически формируется текст перехода. Технологию требуется корректировка текста, что выполняется быстрее, чем полный ввод перехода. Указанная процедура ввода не нашла своего применения из-за необходимости трудоёмкого предварительного кодирования.

Второй подход основан на использовании комплекса классификаторов, позволяющих по частям вводить текст перехода. Комплекс содержит классификаторы, применяемые для формирования кодового обозначения перехода по ГОСТ 3.1702-79. Содержание перехода разделено на части и ввод каждой части выполняется с использованием перехода. Выделены следующие части текста перехода:

1. Вид перехода.
2. Количество одновременно обрабатываемых поверхностей.
3. Количество последовательно обрабатываемых поверхностей.
4. Обрабатываемый объект.
5. Обозначение размеров обрабатываемых поверхностей.
6. Дополнительная информация об объекте.
7. Способ выполнения перехода.

На втором и третьем уровнях автоматизации на основании параметрической модели перехода формируется текст перехода и предъявляется технологию, который при необходимости его корректирует. Этот текст в дальнейшем используется для автоматизированной печати технологической карты.

Стратегии проектирования технологических процессов

При «ручном» проектировании ТП, а особенно при создании (использовании) САПР ТП важно иметь четкое представление, с использованием какой (каких) стратегий они проектируются. Стратегия проектирования ТП определяет методику его проектирования. Правильный выбор стратегии проектирования чрезвычайно важен (особенно в САПР). Это определяет эффективность САПР. Ниже приведены некоторые стратегии проектирования ТП (рис. 1.3...1.6).

В идеале необходимо стремиться к выбору или разработке линейной стратегии проектирования. Она является идеальной особенно при проектировании с использованием ЭВМ. Эта стратегия имеет минимальную трудоёмкость, максимальную надёжность.

Циклическая стратегия (схема с петлями) характерна для многих программ ЭВМ и носит название **итерационного процесса**. Другими словами это процесс последовательного приближения к цели путём улучшения разрабатываемых вариантов.

Наличие параллельных этапов в разветвленной стратегии очень выгодно. Это позволяет сократить сроки проектирования.

В адаптивных стратегиях проектирования с самого начала определяется только первое действие. В дальнейшем выбор каждого последующего действия зависит от результатов предыдущего. В принципе это самая разумная стратегия, т.к. схема поиска определяется на основе наиболее полной информации. Эта стратегия используется при создании систем искусственного интеллекта.

Стратегия случайного поиска отличается абсолютным отсутствием плана. Она используется в новаторском проектировании, например, при разработке новых ТП.

Необходимо добиваться максимальной линейности процесса проектирования с включением параллельных этапов, а цикличность стараться исключать, особенно на верхних уровнях проектирования. К сожалению, из-за недостаточной информации часто не удается задать линейную стратегию, которая особенно целесообразна в САПР.

Стратегия проектирования может детализироваться от одного уровня проектирования к другому. На определенных этапах проектирования приходится вводить методы управления стратегией (рис. 1.7).

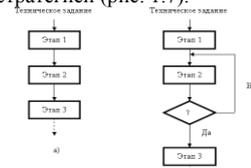


Рис. 1.3. Линейная (а) и циклическая (б) стратегия проектирования

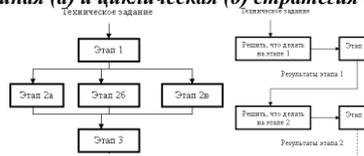


Рис. 1.4. Разветвлённая стратегия проектирования

Рис. 1.5. Адаптивная стратегия проектирования



Рис. 1.6. Стратегия случайного поиска



Рис. 1.7. Управление стратегией проектирования

Целесообразно процесс проектирования разбивать на частные задачи. Результат выполнения каждой задачи оформляется в виде технического задания, которое дает информацию о последующем плане (стратегии) её детализации (дальнейшего решения).

Методики автоматизированного проектирования ТП

ТП, как объект проектирования, можно представить в виде иерархической структуры, расчлененной на несколько взаимосвязанных уровней (рис. 1.8).

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

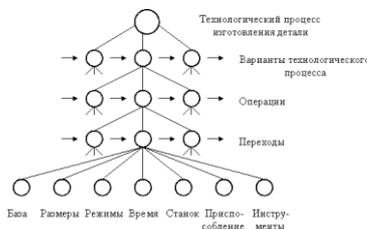


Рис. 1.8. ТП как объект проектирования

Структурный синтез реализуется на уровнях формирования операций и переходов, а параметрический – на уровне выбора базы, определения межпереходных размеров, расчета режимов резания и т.д. (см. рис. 1.8).

В зависимости от степени полноты реализации синтеза (главным образом структурного) и анализа можно выделить три основных методики АПР ТП:

1. Метод прямого проектирования (документированного).
2. Метод анализа (адресации, аналога).
3. Метод синтеза.

В реальной САПР ТП может быть реализован один метод или любая комбинация данных методов.

Метод прямого проектирования

Данный метод предполагает, что подготовка проектного документа (технологической карты) возлагается на самого пользователя, выбирающего типовые решения различного уровня из базы данных в диалоговом режиме.

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).

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.

Метод анализа

В его основе лежат полные типовые решения. Данный метод исходит из того, что структура индивидуального ТП не создается заново. Она определяется в соответствии с составом и структурой одного из унифицированных ТП, т.е. соответствующего типового или группового ТП. Это осуществляется путем *анализа необходимости* каждой операции и перехода с последующим уточнением всех решений на уровнях декомпозиции «сверху – вниз». Т.о., этот метод воплощает идею «от общего к частному».

Этот метод 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) ТП – анализ его структуры – доработка в соответствии с описанием чертежа детали – оформление индивидуального ТП.

Использование данного метода на этапе разработки и адаптации САПР ТП к условиям конкретного предприятия предполагает большую 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 ТП. Все типовые ТП для всех групп деталей заносятся в ЭВМ. При разработке индивидуального ТП из типового ТП, как правило, исключаются лишние операции и переходы. Иногда, что гораздо реже, недостающие операции и переходы могут добавляться в режиме ручного редактирования ТП. 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 всё многообразие поверхностей рассматриваемой группы. Для комплексной детали разрабатывается унифицированный (групповой) ТП. Он заведомо является избыточным, т.е. содержит операции и переходы по обработке всех деталей группы. Разработка индивидуального ТП заключается в анализе необходимости включения в него операций и переходов из соответствующего группового ТП. Или, другими словами, из группового ТП исключаются лишние операции и переходы (см. рис. 1.9). 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 ТП можно приступать к АПР индивидуальных ТП.

Метод анализа является основным методом проектирования ТП при эксплуатации ГПС. Его применение дает наибольший эффект при внедрении на производстве групповых и типовых ТП. Это объясняется тем, что этот метод не нарушает существующей специализации и традиций производственных подразделений, упрощает процесс проектирования, не требует трудноформализуемых процедур синтеза новых ТП.

Достоинства метода:

1. Работает быстро, так как метод основан на типизации решений.
2. Используются все достоинства метода групповой обработки деталей и организации группового производства такие как:
 - использование высокопроизводительного оборудования при малых партиях деталей;
 - специализация рабочих мест;
 - эффективная организация и планирование производства.

Ограничение метода: использование этого метода возможно лишь в условиях, когда на предприятии имеется развитая групповая технология.

Метод синтеза в САПР ТП

В основе метода синтеза лежат локальные типовые решения. Алгоритмы построения САПР на основе метода синтеза существенно отличаются друг от друга. Причины этого состоят в следующем:

1. Процедуры разработки (синтеза) ТП относятся к разряду трудноформализуемых.
2. Ряд САПР, построенных по методу синтеза, ориентированы на проектирование ТП изготовления деталей определённого класса (например, «тел вращения»).
3. С целью исключения циклов при разработке технологии и обеспечения линейной стратегии проектирования некоторые разработчики САПР отошли от классической схемы проектирования ТП «маршрут – операция – переход» и т.д.

Достоинства метода:

- метод является универсальным и теоретически позволяет проектировать ТП для любых деталей;
- метод ориентирован на использование стратегии «сначала вширь, а затем вглубь», т.е. позволяет выполнять направленный поиск и достаточно быстро проектировать оптимальные ТП.

Недостатки метода:

- метод является сложным и поэтому процесс проектирования ТП идёт достаточно долго;
- чем выше уровень автоматизации, тем сложнее настраивать систему проектирования на условия предприятия и сложнее её сопровождать.

Оптимизация технологических процессов в САПР ТП

Задачи проектирования ТП являются многовариантными. К многовариантным относятся, например, задачи выбора оборудования, режущего инструмента, расчета режимов резания и т.д. В разрабатываемом ТП число возможных комбинаций переходов, схем базирования, методов обработки и компоновок операций даже для простых деталей значительно, а для более сложных возрастает чрезвычайно.

Разные варианты ТП изготовления одной и той же детали вследствие различий в структуре, применяемом оборудовании, инструменте, режимах резания и т.д. имеют различные выходные показатели: производительность, себестоимость, расход металла, загрузку оборудования и др.

Наличие нескольких вариантов решения задачи (вариантов ТП) естественным путём приводит к задаче выбора *наилучшего варианта*. В нашем случае таковым будет вариант ТП, обеспечивающий выполнение в конкретных производственных условиях все требования чертежа детали и дающий наилучшее значение выходных показателей. Такой ТП носит название *оптимального*. Таким образом, задача проектирования ТП по своей природе является оптимизационной.

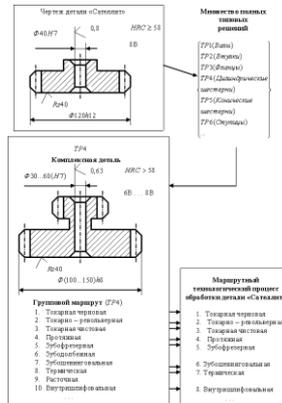


Рис. 1.9. Схема проектирования маршрута обработки на базе группового ТП

Постановка задачи проектирования оптимального ТП

ТП называется оптимальным, если он обеспечивает:

1. Выполнение системы ограничений, отражающих условия протекания ТП и требования, предъявляемые к нему и детали.
2. Экстремум целевой функции.

ТП, оптимальный по одному критерию, может быть далеко не оптимальным по другому. Например, максимум производительности операции может не соответствовать минимуму её себестоимости. Поэтому при постановке задачи проектирования оптимального ТП весьма важным является выбор критерия оптимальности.

Наиболее часто используются следующие критерии оптимальности ТП:

1. Штучное время - $T_{шт}$ (целевая функция $T_{шт} \rightarrow \min$).
2. Производительность Q (целевая функция $Q \rightarrow \max$).
3. Себестоимость детали C (целевая функция $C \rightarrow \min$).

В целом же для постановки задачи оптимизации ТП (как и любой другой задачи оптимизации) необходимо сформировать математическую модель процесса обработки детали (сборки изделия), которая должна включать в себя:

1. Критерий (критерии) оптимальности ТП.
2. Целевую функцию.
3. Систему ограничений.
4. Чётко определенные входные, выходные и внутренние параметры.

5. Управляемый (варьируемый) параметр или управляемые (варьируемые) параметры, которые выделяются из числа внутренних параметров.

После формирования математической модели необходимо определить (выбрать, разработать) метод решения задачи оптимизации.

Различают три вида оптимизации ТП:

1. **Структурную.** Здесь определяется оптимальная структура ТП (вида заготовки, технологического маршрута, модели оборудования и т.д.).
2. **Параметрическую.** Заключается в расчёте оптимальных припусков и межпереходных размеров, режимов резания и т.д.
3. **Структурно-параметрическую.** Комбинация двух первых.

Принципиальное отличие структурной оптимизации от параметрической оптимизации состоит в сущности оптимизируемых параметров. При структурной оптимизации они по своей природе являются неупорядоченными переменными. В параметрической оптимизации параметры представляют собой переменные, для которых существует понятие больше или меньше и которые естественным образом могут быть размещены в координатной системе. В структурной же оптимизации эти параметры не являются по существу числовыми. Параметрами структурной оптимизации являются, например, модели станков, типы инструментов, схемы базирования, т.е. варианты типовых решений.

Структурная оптимизация рассматривает последовательно каждую задачу технологического проектирования. Таким образом, весь процесс проектирования расчленяется на несколько взаимосвязанных уровней. Процесс проектирования на каждом уровне представляет собой многовариантную процедуру. В результате проектирования на всех уровнях образуется граф допустимых вариантов ТП, отвечающих заданным ограничениям (рис. 1.10).

Задача структурной оптимизации состоит в поиске ветви графа, обеспечивающей экстремум целевой функции. В силу неупорядоченности параметров основной метод структурной оптимизации состоит в последовательном переборе возможных вариантов. Чтобы выбрать один оптимальный вариант, необходимо до конца спроектировать очень большое количество допустимых техническими и технологическими ограничениями вариантов ТП.

Для реального ТП изготовления деталей даже средней сложности таких вариантов может быть огромное множество. Перебор всех вариантов даже при помощи современных быстродействующих компьютеров занимает очень большое время.

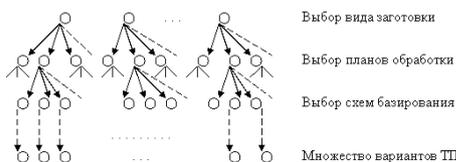


Рис. 1.10. Граф допустимых вариантов ТП

Хранение результатов проектирования

В качестве основной выходной (результатирующей) информации могут выступать:

- маршрутная карта (МК);
- маршрутно-операционная карта (МОК);
- карты с операционными эскизами;
- карты настройки станков;
- карты с УП для станков с ЧПУ.

Будем условно различать три типа задач:

- проектирование маршрутной технологии;
- проектирование маршрутно-операционной технологии;
- проектирование маршрутно-операционной технологии и разработка УП.

Для задачи первого типа основным результатом является маршрутная карта. Для задачи второго типа комплект технологических документов зависит от сложности детали, для которой разрабатывается ТП, и степени детализации описания ТП. Для третьего типа задач комплект технологических документов дополняется картами с УП.

Исходя из современных концепций построения АСТПП хранение технологической документации организуется на основе электронного архива.

После того как, ТП спроектирован и записан в базу данных, он должен пройти стадию контроля и утверждения в различных технологических службах, например, в бюро нормоконтроля, в отделах главного термиста, главного гальваника, главного металлурга и т.д. В этих службах, на основе анализа ТП, могут потребовать изменения разработанного процесса. Свои требования эти службы обычно оформляют в виде извещения на изменения, после чего ТП процесс дорабатывается исполнителем. Будем различать: редактирование процесса и корректировку процесса.

Под редактированием ТП будем подразумевать лишь изменение отдельных параметров, при сохранении структуры процесса. Например, изменение параметров заготовки, номера цеха или модели оборудования.

Под корректировкой ТП будем подразумевать изменение структуры процесса. Например, добавление или удаление операции или перехода.

Раздел 2. Автоматизированное проектирование маршрутной технологии

Тема 2.1. Цель и исходные данные при проектировании маршрутной технологии (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Цель проектирования маршрута – получение структуры процесса и описание операций, входящих в процесс.

Исходные данные:

- чертёж детали;
- ПМД;
- технологическая информация, вводимая технологом в режиме диалога.

Чертёж детали используется на первом уровне автоматизации. На втором и третьем уровнях используется ПМД. Объем вводимой технологической информация так же зависит от уровня автоматизации: чем выше уровень автоматизации, тем меньше объем технологической информации.

В качестве выходной (результатирующей) информации выступает параметрическая модель операции (ПМП). При проектировании маршрутной технологии на втором или третьем уровнях проектирования ПМП содержит лишь структуру процесса и общие характеристики операций.

При проектировании маршрутно-операционной технологии на втором или третьем уровнях проектирования ПМП дополняется структурами операций и моделями переходов, а так же дополняется файлами с операционными эскизами и другой графической информацией.

Раздел 3. Автоматизированное проектирование операций

Тема 3.1. Цель проектирования и оптимизации технологических операций (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Постановка задачи

Цель проектирования операции: получение ПМО с заданной степенью детализации.

Формирование ПМО выполняется на втором уровне проектирования ТП, при этом в зависимости от заданной степени детализации технологии решаются следующие задачи:

Таблица 3.1

Решаемые задачи	Уровень детализации	
	Маршрутная технология	Маршрутно-операционная технология
Выбор модели оборудования	+	+
Простановка технологических баз	+	+
Назначение приспособления	+	+
Формирование структуры операции		+
Определение стоимости операции		+
Проектирование операционной заготовки	*	+
Разработка управляющих программ	*	*
Формирование дополнительных документов	*	*

Примечание: * - допустимо, но не обязательно.

Рассматривая методику проектирования операции необходимо в первую очередь ответить на следующий вопрос: с какой операции начать проектирование – с первой или с последней?

Если начать проектирование с 1-ой операции, то к моменту проектирования форма и размеры исходной заготовки нам неизвестны, а также форма и размеры выходной заготовки для этой операции. Если начать проектирование с последней операции, то к моменту проектирования известны форма и размеры выходной заготовки, которые содержатся в ПМД. В результате проектирования операции становятся известными припуски, которые снимаются при выполнении операции, что дает возможность спроектировать входную заготовку и зафиксировать информацию о ней в параметрической модели входной заготовки.

Теперь можно проектировать предшествующую операцию. Продолжая проектирование, постепенно переходят к проектированию первой операции. Добавляя припуски, снимаемые на первой операции, а также, если необходимо, и напуски формируют параметрическую модель исходной заготовки.

Проектирование от последней операции к первой получило название «обратное проектирование ТП». Указанный подход к

проектированию ТП в настоящее время получил широкое применение при разработке САПР ТП и поэтому мы примем его в качестве основного.

Исходную информацию для проектирования операции можно разделить на три группы:

- 1-я группа – технологическая информация (известен вид операции и рабочие планы обработки поверхностей);
- 2-я группа – геометрическая (форма и размеры выходной заготовки);
- 3-я группа – экономическая (программа выпуска или размер партии).

В процессе проектирования используется нормативно-справочная информация о технологическом оснащении, припусках, режимах резания и другая информация. Она хранится в базе данных.

Выходная информация:

1. Параметрическая модель операции.
2. Параметрическая модель входной заготовки.
3. Задание на проектирование специальной оснастки.

Оптимизация технологических операций

В качестве критерия оптимизации может быть выбрана себестоимость выполнения операции. Анализ указанного критерия показывает, что в нём не учтена стоимость приспособления, на котором будет обрабатываться заготовка, и стоимость наладки приспособления для обработки партии заготовок.

Если при партии в 10 шт. для обработки заготовки спроектировать и изготовить специальное высокопроизводительное приспособление, то даже десятикратное снижение стоимости обработки заготовки на этом приспособлении не окупит этого приспособления. Поэтому в качестве критерия оптимизации целесообразно выбрать приведенную стоимость операции.

Структурная оптимизация технологической операции заключается в выборе такой структуры операции, при которой достигается наименьшая приведённая стоимость операции. Оптимизация на уровне операции выступает как глобальная по отношению к оптимизации на уровне перехода, причем возможна ситуация, когда сумма стоимостей оптимальных переходов больше суммы стоимостей неоптимальных переходов, т.е. когда глобальный оптимум не совпадает с локальным оптимумом. Эта ситуация имеет место при манипулировании структурой операции, когда выполняется совмещение переходов.

Параметрическая оптимизация на уровне операции заключается в выборе такой модели оборудования и такого приспособления, которые дадут минимальную приведённую стоимость операции.

Раздел 4. Проектирование переходов

Тема 4.1. Исходные данные при проектировании переходов (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Постановка задачи

Цель проектирования перехода: определение содержания перехода и характеристик поверхностей, обрабатываемых на переходе.

Проектирование перехода выполняется на третьем уровне проектирования ТП и заканчивается возвратом на уровень проектирования операции.

Решаемые задачи:

- определение припусков на обработанные в переходе поверхности;
- определение структуры перехода;
- назначение режущего, измерительного и вспомогательного инструмента;
- расчет режимов резания и времени выполнения перехода;
- расчет стоимости выполнения перехода.

В зависимости от уровня автоматизации часть задач может выполняться вручную или с помощью модулей, которые могут функционировать автономно. Однако необходимо обеспечить согласованное функциональное и информационное взаимодействие между модулями и выбор оптимального варианта перехода.

Входные данные

Объём входных данных для проектирования перехода зависит от уровня автоматизации, установленного для САПР ТП. При первом уровне автоматизации информация о переходе вводится технологом в режиме диалога. Для второго и третьего уровня автоматизации информация, необходимая для проектирования перехода, содержится в параметрических моделях ТП и выходных (входных) заготовок. В общем случае входные данные можно разделить на три группы:

- геометрические данные;
- технологические;
- экономические.

Геометрические данные содержатся в параметрической модели выходной заготовки для заданной операции. Для текущего перехода необходимо использовать:

- параметры, обрабатываемых на переходе поверхностей (форма, размеры, их точность, шероховатость и твердость поверхностей);
- базовые поверхности, от которых надо держать размеры;
- общие размеры заготовки.

Технологические данные содержатся в параметрической модели текущего перехода. Однако, в начале проектирования перехода обычно известен лишь код перехода. Из модели текущей операции могут быть выбраны:

- схема базирования;
- приспособления;
- код модели оборудования или сама модель (для режимов обработки и точности).

К экономическим данным относится размер партии или годовой объём выпуска деталей. Эти данные обычно вводятся в ПМП в начале проектирования ТП.

В процессе проектирования перехода активно используется информация об оборудовании, приспособлениях, инструменте и справочная информация различного типа о припусках, режимах резания и нормах времени. Следовательно, необходимо иметь быстрый и удобный доступ к базам данных и знаний, как в режиме диалога, так и в автоматизированном режиме. От рациональной организации СУБД в первую очередь зависит эффективность проектирования перехода.

Выходные данные

Состав выходных данных зависит от выбранной степени детализации оформления ТП.

При первом уровне автоматизации результаты проектирования перехода фиксируются в текстовом файле, содержащем маршрутно-операционную или операционную технологическую карту.

На втором и третьем уровнях проектирования результаты проектирования перехода обычно содержатся в параметрической модели текущего перехода и в параметрической модели входной заготовки.

Целесообразно выделить две группы выходных данных: технологические и геометрические данные.

Технологические данные:

- текст перехода (например, рассверлить отверстие и т.п.);
- назначенный инструмент (режущий, вспомогательный, измерительный);
- вид охлаждения инструмента;

- режимы резания и время выполнения перехода;
- стоимость выполнения перехода.

Геометрические данные:

- размеры обрабатываемых на переходе поверхностей;
- траектория движения инструмента.

Тема 4.2. Оптимизация переходов (Лекция – дискуссия – 3 час.)

Переход может выполняться различными способами, т.е. варианты выполнения перехода могут быть различными. Поэтому необходимо выполнить оценку этих вариантов и выбрать оптимальный по какому-либо критерию. В качестве критерия оптимизации могут быть выбраны различные оценки, например время выполнения перехода, производительность, стоимость выполнения перехода и т.д. Например, выполнение перехода с использованием специального инструмента потребует меньшего времени, чем при использовании универсального инструмента, однако использование специального инструмента может резко увеличить стоимость выполнения перехода при малой партии деталей. На наш взгляд, целесообразно использовать приведенную стоимость перехода C_n , при которой учитывается стоимость применяемого инструмента:

$$C_n = C_p + C_u (*)$$

где C_p – стоимость выполнения перехода, руб;

C_u – приведенная стоимость инструмента, руб.

$$C_p = (t_p + t_a) \cdot Z_{pc}$$

где t_p – время выполнения рабочих ходов, мин;

t_a – время выполнения вспомогательных ходов, мин;

Z_{pc} – стоимость 1 минуты работы рабочего и станка, руб/мин.

$$C_u = (C_{инс} \times t_p) / (T \times p \times a)$$

где $C_{инс}$ – полная стоимость инструмента, руб;

T – период стойкости, мин;

p – размер партии заготовок, шт;

a – количество переточек инструмента, шт.

В свою очередь время обработки определяется по формуле:

$$t_p = l / s,$$

где l – длина обработки (длина рабочего хода), мм;

s – минутная подача, мм/мин.

Оптимальный переход – это переход, имеющий минимальное значение C_n из всех возможных вариантов перехода.

Функция (*) имеет минимум, так как увеличение режимов резания (скорости вращения n шпинделя и подачи s) приводит к уменьшению t_p и соответственно C_n , а затем, когда стойкость инструмента начинает падать из-за увеличения скорости резания, происходит быстрое увеличение стоимости инструмента и кривая стоимости C_n начинает идти вверх.

В соответствии с принципом неокончателных решений в результате проектирования перехода может быть сформировано несколько вариантов, из которых первым используется вариант с наименьшим C_n .

Вариант перехода зависит от применяемой схемы выполнения перехода и выбранного режущего инструмента. Для каждого варианта выполняется оптимизация режимов резания таким образом, чтобы обеспечить минимальное значение C_n .

Структура перехода

Под структурой перехода будем понимать граф SP, у которого вершины отображают рабочие и вспомогательные ходы, а дуги – отношение следования между вершинами.

Граф SP обычно имеет линейную структуру. Каждый рабочий или вспомогательный ход характеризуется не только режимами резания, но и пространственными параметрами: координатами начальной и конечной точки хода. Поэтому, кроме графа SP для перехода может быть спроектирована и пространственная схема перехода. Для одного и того же перехода могут быть составлены различные пространственные схемы.



Рис. 4.1. Обточка цилиндрической наружной поверхности продольным движением реза



Рис. 4.2. Обточка цилиндрической наружной поверхности поперечным движением реза

Необходимо отметить, что структура перехода проектируется лишь при разработке УП. Обычно решение этой задачи переносится в САМ-систему. Исключение составляет проектирование технологии для токарных автоматов и полуавтоматов, у которых управление станком выполняется с помощью кулачков. Расчет кулачков выполняется в САПР ТП.

Однако при проектировании перехода всегда необходимо определить схему выполнения перехода. Как видно из рис. 4.1 возможна обработка поверхности продольным или поперечным движением инструмента. От выбранной схемы выполнения перехода зависит конфигурация режущего инструмента, обрабатываемой поверхности на переходе. В свою очередь схема обработки зависит от припусков, на получаемую поверхность. Таким образом, после решения задачи расчета припусков необходимо выполнить геометрический анализ назначенного припуска и код схемы выполнения перехода занести в модель перехода.

Общие принципы проектирования переходов

Методика проектирования перехода зависит:

- от принятого уровня автоматизации проектирования ТП;
- способа расчета операционных размеров;
- от того, нужно ли проектировать управляющую программу для операции, в которой этот переход выполняется;
- от способа принятия решений.

Первый уровень автоматизации

На этом уровне проектирование перехода обычно выполняется путём заполнения на экране дисплея бланка технологической карты.

Припуски на обработанные поверхности определяются либо вручную, либо с помощью табличного процессора, который запускается и выполняется автономно.

Структура перехода обычно не определяется. Назначение инструмента выполняется вручную или с помощью информационно-поисковой системы технологического назначения.

Расчет режимов резания выполняется не всегда. Если необходимо выполнить расчет режимов резания, то такой расчет выполняется либо вручную с помощью соответствующих справочников, либо с помощью табличного процессора, который запускается и выполняется автономно.

Текст перехода формируется на экране дисплея.

Второй уровень автоматизации

На этом уровне проектирование перехода обычно выполняется путём формирования параметрической модели перехода. Поисковые задачи (выбор припусков и инструмента) выполняются с помощью табличного процессора, который запускается в среде проектирования. Надо отметить, что если используются унифицированные переходы, то поисковое предписание может содержаться внутри модели перехода, что дает возможность выполнить автоматический поиск с последующей оценкой полученных вариантов в режиме диалога.

Операционные размеры, необходимые для назначения измерительного инструмента, а также собственные размеры обработанной на переходе поверхности выбираются из параметрической модели выходной заготовки.

Выборка размеров может выполняться в режиме диалога при выводе параметрической модели выходной заготовки на экран дисплея.

Расчет режимов резания выполняется не всегда. Если необходимо выполнить расчет режимов резания, то такой расчет выполняется с помощью табличного процессора.

Текст перехода формируется на экране дисплея с помощью набора классификаторов и записывается в модель перехода.

Результаты определения собственных размеров обрабатываемой поверхности фиксируются в параметрической входной заготовки.

Завершающие действия заключаются в занесении модели перехода в параметрическую модель ТП. Для удобства проектировщика обычно имеется процедура для просмотра перехода в том виде, в котором он будет зафиксирован в технологической карте.

Расчет припусков

Для определения слоя снимаемого материала производится расчет минимального припуска. Будем придерживаться методики расчета, при которой минимальный припуск определяется по формулам:

$$Z_{i, \min} = A_{i-1, \min} - A_{i, \max} \text{ — для наружных ступеней};$$

$$Z_{i, \min} = A_{i, \min} - A_{i-1, \max} \text{ — для внутренних ступеней};$$

где $A_{i-1, \max}$ и $A_{i-1, \min}$ — максимальный и минимальный размер на выполняемом переходе для обрабатываемой поверхности, а $A_{i, \max}$ и $A_{i, \min}$ для обработанной поверхности (см. рис. 4.3):

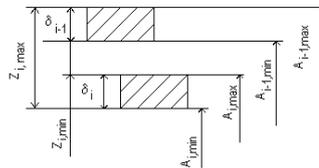


Рис. 4.3. Поля допусков и припуски

Использование этих формул согласуется с теорией размерных цепей и удобно для расчета операционных размеров.

Как известно, в настоящее время существуют два метода определения припусков: расчетно-аналитический и опытно-статистический (табличный).

Расчетно-аналитический метод является более точным и дает большую экономию металла по сравнению с опытно-статистическим.

Поэтому сначала рассмотрим этот метод. Как известно, в расчетно-аналитическом методе $Z_{i, \min}$ рассчитывается по формуле:

$$Z_{i, \min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + (\rho_{i-1}^{k_1} + \epsilon_{y_i}^{k_1})^k,$$

где Rz_{i-1} , T_{i-1} и ρ_{i-1} — соответственно высота неровностей профиля, глубина дефектного слоя и суммарное значение пространственных отклонений для элементарной поверхности на предшествующем переходе;

ϵ_{y_i} — погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Для плоских поверхностей $k = 1$, $k_1 = 1$, а для поверхностей вращения $k = 0,5$, $k_1 = 2$.

Исходя из приведенных формул исходными данными при расчете припусков являются:

- характеристики качества поверхности, полученной на предшествующем переходе;
- погрешности формы поверхности;
- способ установки заготовки.

Величина шероховатости может быть получена исходя из точности обработки, т.к. между величиной поля допуска и минимальной шероховатостью существует определенная зависимость.

Наиболее сложной задачей является определение ρ и ϵ .

Погрешность установки зависит от способа установки, точности обработки базы и направления определения погрешности установки.

Например, при установке в цанговые оправки на цилиндрическую поверхность диаметром 50 мм, выполненной по 8 качеству, погрешность установки равна 10...35 мкм в радиальном и 20 мкм в осевом направлении. Следовательно, могут быть составлены соответствующие таблицы.

Несмотря на перспективность применения расчетно-аналитического метода его использование встречает ряд трудностей.

Таблица 4.1

Припуски на литые заготовки из серого чугуна (ГОСТ 1855-55), мм

Наибольший габаритный размер, мм	Положение Поверхности при отливке	Номинальный размер, мм		
		до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 260
До 120	Верх	2,5±0,2	2,5±0,3	-
	Низ, бок	2,0±0,2	2,0±0,3	-
св. до 260	120 Верх	2,5±0,3	3,0±0,4	3,0±0,6
	Низ, бок	2,0±0,3	2,5±0,4	2,5±0,6

Сложность формирования базы для определения припусков расчетно-аналитическим методом заключается в том, что данные, приведенные в справочниках, являются неполными и не очень точными, т.к. наблюдается разброс в рекомендуемых значениях по разным источникам. Кроме того, часть параметров системы СПИД определить достаточно трудно. Например, сложно определять суммарное значение пространственных отклонений для элементарной поверхности на предшествующем переходе. Эмпирические формулы составлены не для всех случаев и не являются достаточно точными. В эти формулы входит податливость системы СПИД. Податливость станка зависит от модели станка и степени его изношенности. Учесть эти факторы практически невозможно.

Поэтому при автоматизированном проектировании ТП большее применение получил опытно-статистический (табличный) метод. Этот метод более прост и не содержит трудноопределяемых факторов. Для этого метода имеется ряд ГОСТов. Пример выборки из таблицы для припусков на литые заготовки из серого чугуна приведен ниже.

Расчет на первом уровне автоматизации проектирования осуществляется в режиме диалога, при этом используется ИПС

технологического назначения или табличный процессор.

На втором уровне автоматизации кроме режима диалога может выполняться и автоматизированный поиск. Для этого поисковое предписание встраивается в унифицированный переход, что позволяет автоматически рассчитывать припуск. Если некоторых переменных не удалось обнаружить, то выполняется запрос на их ввод.

Расчет режимов резания

Этот расчет заключается в определении частоты вращения шпинделя (V), подачи (S) и глубины резания (t) на каждом рабочем ходу для заданного перехода. Режимы должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить требуемую точность размеров и качество поверхности при наименьшей стоимости обработки.

Входными параметрами для этой задачи являются:

- вид операции и перехода;
- форма, размеры (и их точность) обрабатываемой и обработанной поверхностей;
- характеристики используемого на переходе режущего и вспомогательного инструмента;
- характеристики моделей оборудования и приспособления, применяемых на проектируемой операции.

Расчет режимов резания выполняется не всегда. В первую очередь режимы резания нужны в том случае, когда проектируется операция для станка с программным управлением и для него будет разрабатываться УП. Если будет рассчитываться стоимость перехода, то время обработки на переходе определяется исходя из режимов резания. Это даёт возможность определить технически обоснованные нормы времени на операцию. Таблицы, необходимые для расчета режимов резания, вводятся в базу данных.

Расчет режимов резания выполняется либо в автономном режиме, что характерно для первого уровня автоматизации, либо в автоматическом режиме (второй и третий уровень автоматизации). В автономном режиме используется либо специально разработанная система расчета режимов резания, либо табличный процессор.

Результаты расчета либо сразу заносятся в бланк технологической карты, выведенный на дисплей (первый уровень автоматизации проектирования), либо в параметрическую модель перехода (второй и третий уровень автоматизации).

Вывод:

1. Расчет режимов резания выполняется на основе нормативных данных, адаптированных к условиям конкретного предприятия.
2. Оптимизация режимов резания проводится в лишь ограниченных случаях при большой годовой программе выпуска поисковыми методами, позволяющими достаточно быстро выполнить необходимые расчеты.

Оптимизация режимов резания

Известно, что оптимизация режимов резания позволяет использовать более производительные режимы по сравнению с нормативными. Применение оптимальных режимов резания позволяет на 5...7 % и больше, повысить производительность труда. В условиях единичного и мелкосерийного производства, как раз характерного для приборостроения, работы по оптимизации режимов резания обычно не проводятся. Экономический эффект, полученный от оптимизации режимов резания при обработке малых партий деталей невелик и чаще всего не может компенсировать затраты на оптимизацию. Поэтому опытный рабочий обычно сам эмпирически подбирает режимы резания, позволяющие добиться максимальной производительности труда, при заданном качестве продукции. В тоже время оптимизация режимов резания, выполненная в САПР ТП, позволяет рабочему уменьшить период настройки станка на оптимальную производительность, что особенно важно при обработке малых партий деталей на дорогостоящем металлорежущем оборудовании с ЧПУ.

Процесс резания при механической обработке характеризуется параметрами режима резания: S – подача, n – частота вращения шпинделя, t – глубина резания. На выбор режимов резания влияют ограничения, характеризующие кинематику и динамику процесса резания металлов для заданной системы СПИД.

Математическая модель процесса резания может быть представлена в графическом виде (рис. 4.4., 4.5). Каждому из линейных неравенств системы W соответствуют прямые линии в координатной плоскости x_1, x_2 . Прямая каждого из неравенств делит эту плоскость на две полуплоскости. По одну сторону от прямой расположены значения, удовлетворяющие, а по другую – не удовлетворяющие неравенству.

Точки, лежащие на самой прямой, удовлетворяют уравнению, поэтому указанные прямые названы «границными» прямыми. На рисунке стрелками показаны для всех прямых те полуплоскости, которые удовлетворяют неравенству соответствующих ограничений.

Граничные прямые, пересекаясь между собой, образуют многоугольник.

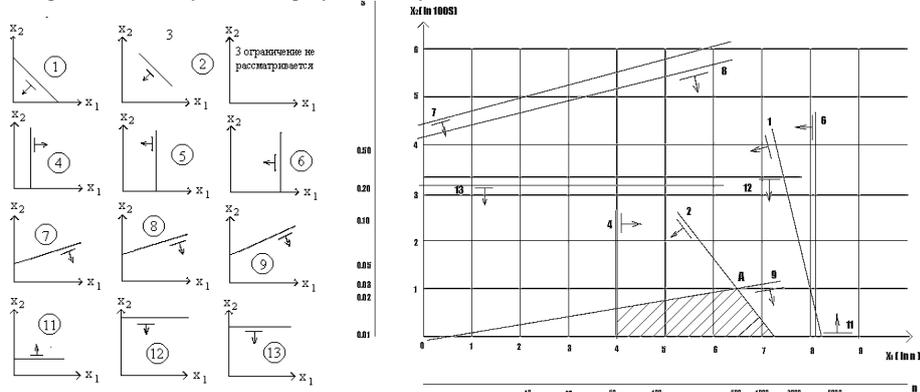


Рис. 4.4. Математическая модель процесса резания Рис. 4.5. Решение системы

Множество точек плоскости, заключенных внутри этого многоугольника и отвечающих области допустимых значений каждого неравенства, является решением системы неравенств. Как видно из рисунка, некоторые прямые не участвуют в образовании многоугольника решений, однако сам многоугольник должен тогда располагаться в полуплоскости допустимых значений этих прямых.

Если система неравенств не имеет решения, то многоугольник решений не получится, т.к. не существует ни одной точки, координаты которой удовлетворяют всем неравенствам системы.

Тема 4.3. Назначение режущего инструмента (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Задача назначения режущего инструмента (РИ) является важной задачей при проектировании перехода. Сложность назначения РИ вызвана, во-первых, большим разнообразием конфигураций инструмента и его типоразмеров, а во-вторых, не полной формализацией задачи его назначения. Исходя из общей методики поиска технологического оснащения, назначение РИ происходит в три этапа:

1. Выбор вида режущего инструмента.
2. Выбор типоразмера инструмента.
3. Определение возможности использования найденного типоразмера инструмента для заданной ситуации.

Первый этап назначения режущего инструмента.

Исходными данными для выбора режущего инструмента являются:

- технологические характеристики – группа оборудования и код перехода;
- характеристики заготовки – группа материала и характеристики обрабатываемого элемента;
- экономические характеристики – размер партии.

Вид инструмента кодируется либо по классификатору ЕСКД, либо по классификаторам самого предприятия.

Адрес набора данных с типоразмерами РИ используется в дальнейшем для вызова набора с типоразмерами и последующего поиска типоразмера РИ. При выборе вида инструмента может быть найдено несколько видов инструмента, которые могут быть использованы для обработки заданного элемента. Поэтому в выходных параметрах надо зафиксировать номер, который будет означать приоритет выбора инструмента. Чем больше номер, тем выше приоритет. Если в таблице выбрать строки для каждого вида инструмента в пределах одной группы оборудования и перехода располагать в порядке убывания приоритета, то для найденной совокупности записей первая запись будет по умолчанию обладать наибольшим приоритетом.

Таким образом, на первом этапе находятся код и наименование вида РИ, а также адрес набора данных с типоразмерами РИ.

Второй этап назначения режущего инструмента.

Определяется адрес набора данных, в котором необходимо найти нужный (экземпляр) типоразмер инструмента.

Наименование найденного типоразмера заносится в технологическую карту.

Если поиск типоразмера закончился неудачно, то выбирается следующий из найденных ранее видов РИ для последующего поиска типоразмеров, либо составляется задание на проектирование и изготовление специального инструмента.

Третий этап назначения режущего инструмента.

Выбранный инструмент надо проверить на возможность использования в конкретных условиях. Иначе говоря, необходимо проверить найденный РИ по тем параметрам, которые не участвовали при поиске типоразмера. Например, было выбрано сверло для сверления короткого отверстия на дне паза.

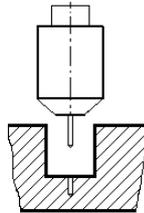


Рис. 4.6. Сверление отверстия на дне паза

В данном случае вместо короткого сверла необходимо выбрать сверло из сверл длинной серии. Необходим возврат к ранее найденным видам сверл и повторение поиска типоразмера сверла.

При положительных результатах проверки третий этап обычно завершается записью наименования инструмента в параметрическую модель заданного перехода. В некоторых случаях, в параметрическую модель перехода могут быть записаны и параметры инструмента, необходимые, например, для расчета режимов резания.

Вывод: назначение РИ требует создания и сопровождения развитой базы данных (знаний) и библиотеки с эскизами инструмента. Создание такой базы является весьма трудоёмким процессом, однако чем полнее база, тем быстрее выполняется назначение РИ и выше качество принимаемых решений.

Тема 4.4. Назначение измерительных средств (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Под термином «*средства измерения или измерительные средства*» будем понимать средства измерения (СИ) линейных, угловых и других размеров, включая механические, оптические и электронные приборы и системы, а также универсальный, стандартный и специальный измерительный инструмент.

Технологические (операционные) размеры проставляются в операционном эскизе и (или) при записи содержания перехода в технологической карте. Эти размеры определяют обычно на основе расчета размерных цепей. Рассчитанная номинальная величина технологического размера часто получается нестандартной и обычно отсутствует в предпочтительном ряде чисел R_{40} и не относится к дополнительным линейным размерам по СТ СЭВ 514-77. Это обстоятельство уменьшает вероятность нахождения стандартного инструмента и осложняет поиск средств измерений.

Пример: пусть необходимо выбрать измерительные средства для линейного размера $L = 13,9 \pm 0,08$ детали, показанной на рис. 4.7, а. Размер партии равен 30 тыс. штук. При такой партии используется специальный измерительный инструмент (предельный инструмент), как средство измерения, обладающее наибольшей производительностью контроля. В данном случае такими средствами являются шаблоны для контроля длин (рис. 4.7, б, в, г).

В отличие от режущего инструмента наиболее важной информацией, необходимой для выбора средств измерения, являются характеристики измеряемого операционного размера. В качестве главных характеристик выбраны класс, подкласс и вид размера, выраженные как четырехзначный код. Для рассматриваемого размера код размера – 0133. Код означает, что данный размер является операционным (первая цифра – 0), линейным (вторая цифра – 1), левый край (третья цифра – 3) проставлен как показано на рис. 4.8, а, правый край (четвертая цифра – 3) проставлен как показано на рис. 4.8, б.

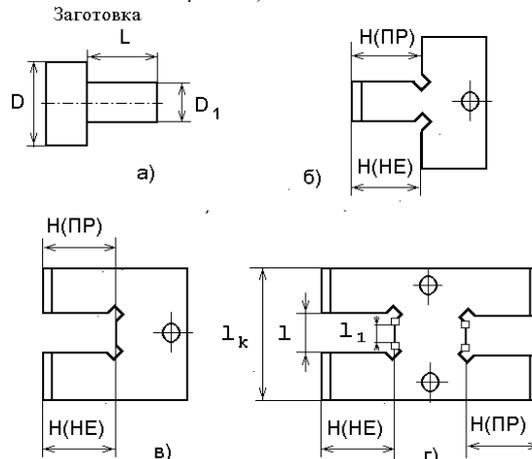


Рис. 4.7. Заготовка, размер L которой необходимо измерить, и шаблоны, применяемые для изготовления этого размера (H – измеряемый размер)

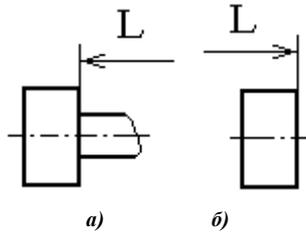


Рис. 4.8.

Первый этап назначения средств измерения

Исходя из общей методики поиска технологического оснащения на первом этапе выполняется выбор вида средств измерения.

Входной элемент содержит параметры:

- код размера;
- номинальная величина размера;
- точность размера;
- размер годовой программы выпуска или размер партии.

Таким образом, кроме параметров измеряемого операционного размера, для выбора вида СИ используется и размер партии, так как чем выше размер партии, тем более производительным должен быть контроль размера, иначе стоимость перехода будет недопустимо большой.

Выходной элемент содержит параметры:

- номер вида СИ;
- код вида СИ;
- приоритет для СИ;
- адрес набора данных с типоразмерами СИ;
- полное наименование вида СИ.

Приоритет целесообразно назначить в зависимости от производительности инструмента. Например, выбраны: специальный инструмент (предельные калибры), универсальный инструмент, измерительные устройства, измерительные приборы. Наибольший приоритет должен быть у предельных калибров.

Второй этап назначения средств измерения

Определяется адрес набора данных, в котором необходимо найти нужный (экземпляр) типоразмер инструмента.

Наименование найденного типоразмера заносится в технологическую карту.

Если поиск типоразмера закончился неудачно, то либо составляется задание на проектирование и изготовление специального инструмента, либо при малой партии изготавливаемых деталей выполняется поиск универсальных средств измерений (инструмента, приспособлений, приборов).

Третий этап назначения средств измерения

На третьем этапе выбранный инструмент надо проверить на возможность использования в конкретных условиях. Иначе говоря, необходимо проверить найденное СИ по тем параметрам, которые не участвовали при поиске типоразмера.

Третий этап обычно завершается выводом на экран эскиза найденного СИ и окончательной проверкой возможности использования найденного СИ.

Как видно из сказанного, назначение СИ требует создания и сопровождения развитой базы данных (знаний) и библиотеки с эскизами средств измерения. Создание такой базы является трудоемким процессом, однако чем полнее база, тем быстрее выполняется назначение СИ и выше качество решений.

Раздел 5. Организация проектирования технологических процессов на основе современных информационных технологий

Тема 5.1. Современные информационные технологии (Лекция – дискуссия – 1 час.)

В современных условиях ТПП рассматривается как составная часть жизненного цикла изделия. При таком подходе эффективное функционирование ТПП достигается лишь на основе применения современных информационных технологий (ИТ). Поэтому на промышленных предприятиях начинают применять эти технологии. Важный аспект использования ИТ – возможность по-новому организовать информационное взаимодействие САПР ТП с проблемной средой независимо от уровня автоматизации и применяемого метода проектирования. Таким образом, открывается путь к созданию САПР ТП нового поколения.

Современные ИТ представляют собой комплекс инструментальных средств и методик по их использованию, направленных на организацию управления и информационную интеграцию автоматизированных подсистем предприятия. Наиболее важными составляющими ИТ являются:

- системы управления документами;
- PDM-системы;
- автоматизированный документооборот;
- Web-технологии;
- виртуальные рабочие места;
- 3-х мерная графика.

Рассмотрим влияние этих составляющих на процесс проектирования ТП.

Система управления документами (СУД), позволяет осуществить авторизованный доступ ко всем информационным ресурсам предприятия. СУД обслуживает электронный архив и выполняет следующие основные функции:

- ведение на различных носителях распределенных архивов разнородной конструкторской, технологической, экономической и коммерческой документации в компьютерной иерархической сети (архив рабочей группы, архив отдела, архив предприятия и т.д.);
- авторизация пользователей и рабочих групп, описание рангов доступа к документам и защита данных от несанкционированного доступа;
- возможность быстрого поиска и просмотра документов без загрузки приложения.

Принципиально важной является возможность хранения в архиве документов с чертежами деталей, файлы с твердотельными моделями деталей и операционных заготовок, а также комплекты с технологическими документами и параметрические модели ТП. Возможность указанной информации даёт возможность эффективно проектировать ТП с последующим проектированием операционных заготовок, разработкой УП и конструированием технологического оснащения. Быстрый доступ и является необходимым условием для эффективной реализации принципа преемственности конструкторских и технологических решений.

Одной из наиболее мощных систем ведения архива документов является система DOCSOpen фирмы PC DOCS.Inc, позволяющая осуществлять ведение распределенных архивов документов и управление архивами в архитектуре «клиент/сервер», ориентированной на стандарты серии ISO 9000.

В условиях жёсткой конкуренции очень важное значение приобретает контроль за процессом разработки проекта и изготовления

изделий. Автоматизация функций ведения проекта и контроля за разработкой и изготовлением изделия системам большинство фирм считает приоритетными при автоматизации управления предприятием.

Практически все основные разработки промышленных CAD/CAM-систем дополнили свои продукты PDM-системой. Примером такой системы можно назвать CPDM фирмы Cimatron, а также STELLAR фирмы TDM Formtek.

Практика функционирования EDM показала, что кроме автоматизированного ведения проекта изделия и решения комплекса задач на основе дерева состава изделия, необходим жесткий контроль за прохождением документации по различным подразделениям, т.е. необходимо автоматизировать функции ведения документооборота.

Предоставляемые PDM – системой возможности Web-технологий позволяют с одной стороны использовать удаленные базы данных, необходимые для проектирования ТП, а с другой стороны – позволяют организовать виртуальные рабочие места (ВРМ) технолога. Использование ВРМ позволяет в самых сложных случаях привлечь к проектированию технологических процессов высококвалифицированных специалистов и тем самым повысить качество проектируемых ТП.

Возможность использования 3-х мерной графики позволяет по-новому организовать работу с графическими объектами. 3-х мерная модель детали с помощью CAD-системы последовательно дорабатывается до трехмерных моделей операционных эскизов. Высокая наглядность трехмерных моделей операционных эскизов, возможность их использования для разработки УП делают такие модели весьма перспективными для их использования при проектировании ТП.

Так как PDM-система включает в себя и СУД и EDM-систему, то, в дальнейшем, будем рассматривать только PDM-системы.

Эффективность от применения ИТ? Принципиально важным является то обстоятельство, что объект (документ или модель объекта) находится всегда в одном месте: в электронном архиве, а не блуждает по отделам и бюро. К нему всегда возможен одновременный доступ лиц, которым это разрешено. Таким образом, наличие СУД позволяет:

Во-первых, выполнять распараллеливания работ над объектом, и, следовательно, сокращение сроков ТПП.

Во-вторых, повышать достоверность информации за счёт изменения документа (модели) только в электронном архиве. Например, конструктор пресс-форм уже не будет работать с устаревшим чертежом детали (заготовки) и переделывать конструкцию пресс-формы после запоздалого получения исправленного чертежа или извещения на изменение.

В-третьих, уменьшать затраты на изменения. Известно, что примерно 75% всех ошибок возникает на стадии конструирования и подготовки производства, но большинство из них определяется лишь на стадии производства, при этом устранение ошибок в 100 раз дороже, чем на первых стадиях.

В-четвертых, повышать скорости поиска документов с нужными данными. Многие СУД имеют эффективные средства поиска, включая поиск документов по их содержанию.

В-пятых, не тратить время на перемещение документа, документ невозможно потерять.

В свою очередь, использование EDM-систем создает дополнительные возможности:

Во-первых, позволяет уменьшить время на составление спецификаций и учет применяемости деталей и СЕ.

Во-вторых, позволяет уменьшить время контроля правильности разработки детали или СЕ. Конструктор может быстро вставить твердотельную модель детали в модель сборочной единицы и посмотреть, как будет расположена деталь в СЕ. Аналогичную процедуру можно выполнить и над сборочной единицей. Это весьма удобный прием, позволяющий сразу найти ошибки конструирования, которые раньше определялись лишь на стадии сборки изделия.

В-третьих, позволяет уменьшить время анализа состояния проекта за счет использования дерева состава изделия и получения сводок, что и кем сделано, и что еще нужно сделать.

В-четвёртых, позволяет уменьшить время проектирования за счет заимствования деталей и СЕ из других организаций, работающих с другими CAD-системами за счёт операций импорта-экспорта.

Тема 5.2. Обзор САПР (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Традиционно продукты САПР для машиностроения разделены на три класса: тяжелый, средний и легкий (табл. 5.1). Такая классификация сложилась исторически, и хотя уже давно идут разговоры о том, что грани между классами вот-вот сотрутся, они остаются, так как системы по-прежнему различаются и по цене, и по функциональным возможностям.

В результате сейчас в этой области имеется несколько мощных систем, своего рода “олигархов” мира САПР, стабильно развивающиеся продукты среднего класса и получившие массовое распространение недорогие “легкие” программы. Имеется и так называемая “внеклассовая прослойка общества”, роль которой выполняют различные специализированные решения.

Таблица 5.1.

“Классовый” состав рынка САПР

Класс САПР	Продукт	Компания
Тяжелый	Unigraphics NX	UGS PLM Solutions (EDS), США
	CATIA	Dassault Systemes/IBM, Франция
	Pro/Engineer	PTC
Средний	Зарубежные системы	
	SolidEdge	UGS PLM Solutions (EDS), США
	SolidWorks	SolidWorks
	Inventor и Mechanical Desktop	Autodesk
	Cimatron	Cimatron, Израиль
	think3	Think3 S.p.A., США
	CadKey	CadKey, США
	PowerSolutions	Delcam, Великобритания
	Отечественные продукты	
	КОМПАС(CAD/CAM/CAE/PDM)	"Аскон", Питер
T-Flex (CAD/CAM/CAE/PDM)	"Топ Системы", Москва	
КРЕДО (CAE)	НИЦ АСК	
Легкий	AutoCAD	Autodesk
	SurfCAM 2D	Surfware
	DataCAD	DataCAD
	IntelliCAD	CADopia
	TurboCAD	IMSI
Специализированные САПР		
Промышленное проектирование	AutoPlant	Rebis (принадлежит фирме Bentley)
Строительное проектирование (железобетон)	Robot Millennium	RoboBAT
Архитектурное проектирование	Architectural Desktop	Autodesk

Немного истории

Под термином “САПР для машиностроения” в нашей стране обычно подразумеваются пакеты, выполняющие функции

CAD/CAM/CAE/PDM, т. е. автоматизированного проектирования, подготовки производства и конструирования, а также управления инженерными данными.

Первые CAD-системы появились еще на заре вычислительной техники — в 60-х годах. Именно тогда в компании General Motors была разработана интерактивная графическая система подготовки производства, а в 1971-м ее создатель — доктор Патрик Хэнретти (его называют отцом САПР) — основал компанию Manufacturing and Consulting Services (MCS), оказавшую огромное влияние на развитие этой отрасли. По мнению аналитиков, идеи MCS составили основу почти 70% современных САПР.

В начале 80-х, когда вычислительная мощность компьютеров значительно выросла, на сцену вышли первые САМ-пакеты, позволяющие частично автоматизировать процесс производства с помощью программ для станков с ЧПУ, и CAE-продукты, предназначенные для анализа сложных конструкций.

Таким образом, к середине 80-х системы САПР для машиностроения обрели форму, которая существует и сейчас. Но наиболее бурное развитие происходило в течение 90-х годов — к тому времени на поле вышли новые игроки “средней весовой категории”.

Усиление конкуренции стимулировало совершенствование продуктов: благодаря удобному графическому интерфейсу значительно упростилось их использование, появились новые механизмы твердотельного моделирования ACIS и Parasolid, которые сейчас используются во многих ведущих САПР, значительно расширились функциональные возможности.

В результате спрос на САПР рос как на дрожжах на протяжении почти десятилетия. Но в последнее время, в связи со снижением производственной активности в США и Европе и насыщением рынка продуктами САПР, этот рост постепенно замедлился: по оценке аналитической компании Datatech, в 1999 г. объем продаж систем CAD/CAM за год увеличился на 11,1%, в 2000-м — на 4,7%, в 2001-м — на 3,5%, а в 2002 г. — на 1,3% (предварительная оценка).

Можно сказать, что переход в новый век стал для рынка САПР переломным моментом. В такой ситуации на первый план вышли две основные тенденции — слияния/поглощения компаний и поиск новых направлений для роста. Яркий пример первой тенденции — покупка компанией EDS в 2001 г. двух известных разработчиков тяжелых САПР — Unigraphics и SDRC, а второй — активное продвижение концепции PLM (Product Lifecycle Management), подразумевающей управление информацией об изделии на протяжении всего его жизненного цикла.

Олигархи мира САПР

В итоге недавних перемен, связанных со слияниями и поглощениями, тяжелых систем осталось всего три: Unigraphics NX компании UGS PLM Solutions (EDS), CATIA французской фирмы Dassault Systemes (которая продвигает ее вместе с IBM) и Pro/Engineer от PTC (Parametric Technology Corp.). Эти компании — лидеры в области САПР, а их продукты занимают положение олигархов: на них приходится львиная доля объема рынка в денежном выражении.

Главная особенность “тяжеловесов” состоит в том, что их обширные функциональные возможности, высокая производительность и стабильность достигнуты в результате длительного развития. Все они далеко не молоды: CATIA появилась в 1981 г., Pro/Engineer — в 1988-м, а Unigraphics NX, хотя и вышла лишь несколько месяцев назад, является результатом слияния двух весьма почтенных систем — Unigraphics и I-Deas, приобретенных вместе с компаниями Unigraphics и SDRC.

Несмотря на то что тяжелые системы значительно дороже своих более “легких” собратьев (свыше 10 тыс. долл. на одно рабочее место), затраты на их приобретение окупаются, особенно когда речь идет о сложном производстве, например машиностроении, двигателестроении, авиационной и аэрокосмической промышленности. По мнению аналитиков, этот сегмент рынка уже практически насыщен и поделен между китами индустрии. Сейчас производители средств автоматизации проектирования возлагают основные надежды на предприятия среднего и малого бизнеса, которых гораздо больше, чем промышленных гигантов. Для них предназначены системы среднего и легкого классов.

Средний класс

Считается, что стабильность и процветание любого общества зависит от среднего класса, отличающегося трудолюбием и надежностью. Это утверждение справедливо и для мира САПР. Здесь средний класс появился относительно недавно — в середине 90-х. До этого существовало только два полюса — на одном мощные системы, работающие на Unix (впрочем, тогда их было гораздо больше, чем сейчас), а на другом — простые программы двумерного черчения для ПК. Но к 1995 г. вычислительная мощность ПК выросла, а Windows стала более стабильной и начала поддерживать многозадачность. Это позволило разработчикам создать системы автоматизированного проектирования, которые заняли промежуточное положение между тяжелым и легким классами. От первых они унаследовали возможности трехмерного твердотельного моделирования, а от вторых — невысокую цену и ориентацию на платформу Windows. Они произвели настоящий переворот в мире САПР, позволив многим конструкторским и проектным организациям перейти с двумерного на трехмерное моделирование.

Лидерами этого сегмента являются системы SolidEdge (разработанная фирмой Intergraph, а теперь принадлежащая UGS PLM Solutions (EDS)), SolidWorks одноименной компании (в настоящее время — подразделение Dassault Systemes), а также Inventor и Mechanical Desktop корпорации Autodesk. Это далеко не полный перечень средних САПР. В данном сегменте работает множество компаний, в том числе и российских, предлагающих относительно недорогие системы стоимостью порядка 5—8 тыс. долл. на одно рабочее место. Их популярность среди пользователей постоянно растет, и благодаря этому данная область очень динамично развивается.

В результате по функциональным возможностям средний класс постепенно догоняет своих более дорогостоящих конкурентов. Однако далеко не всем пользователям требуется такое разнообразие функций. Тем, кто в основном работает с двумерными чертежами, прекрасно подойдет система легкого класса, которая стоит в несколько раз дешевле.

Легковесы

Программы легкой категории служат для простого двумерного черчения, поэтому их обычно называют электронной чертежной доской. И хотя к настоящему времени “легковесы” обрели и некоторые трехмерные возможности, у них нет средств параметрического моделирования, имеющихся в более мощных системах.

Первые системы двумерного моделирования появились еще в 70-х годах, когда были разработаны средства для изображения линий, окружностей и кривых на экране монитора с помощью макрокоманд и интерфейсов прикладного программирования.

Однако подлинный расцвет в этой области наступил лишь в 80-х, когда на сцену вышел персональный компьютер. События развивались быстро: в 1982 г. была основана компания Autodesk, которая занялась разработкой САПР для ПК под названием AutoCAD, а уже к 1987-му было продано 100 тыс. копий AutoCAD (в прошлом году это число превысило 4 млн.). Примеру Autodesk последовали и другие игроки, и сейчас существует множество разнообразных “легких” САПР, включая DataCAD одноименной компании, IntelliCAD фирмы CADopia, SurfCAM 2D от Surfware и др. Эти продукты проще в использовании и дешевле (100—3000 долл.) своих более мощных собратьев, поэтому спрос на них растет даже при нынешнем экономическом спаде. В результате “легкие” системы стали самым распространенным продуктом автоматизации проектирования, заняв в мире САПР такое же положение, какое в сообществе людей отводится “простому рабочему народу”.

Эволюция и развитие

Схожесть рынка САПР с обществом людей проявляется и в характере его развития, которое происходит эволюционным и революционным путем. В свое время революционный переворот произвели первые САПР для ПК, а затем системы среднего класса. Сейчас рынок развивается эволюционно: с каждой новой версией функциональные возможности продуктов всех классов расширяются, производительность увеличивается, а использование упрощается, растет внимание к PDM-системам, позволяющим ускорить проектно-конструкторские работы и реализовать популярную концепцию PLM за счет внедрения технического документооборота и управления проектами, а в связи с распространением Интернета появляются средства для взаимодействия проектировщиков через Всемирную сеть и онлайн-вые библиотеки типовых деталей.

Выводы:

САПР ТП нового поколения должны работать под управлением PDM-систем. Это даёт возможность получить существенный экономический эффект, который заключается в следующем:

1. Возможность одновременного доступа к документу и параллельная маршрутизация дают возможность реально сократить сроки ТПП.
2. Сокращается время контроля документооборота и повышается достоверность контроля. PDM-система позволяет осуществить жёсткий контроль прохождения документов. Всегда можно определить, в какой стадии обработки находится документ, кто его обрабатывает и есть ли задержки с прохождением документа.
3. Жёсткий контроль выполняемых работ повышает дисциплинарную ответственность исполнителей и, следовательно, является важным резервом повышения производительности труда работников предприятия.
4. Возможность быстрого определения отклонений от заданного графика прохождения работ позволяет вовремя предпринять корректирующие воздействия и уложиться в заданные сроки подготовки производства и изготовления изделия.
5. Возможность моделирования процесса документооборота в технологической подготовке производства позволяет определять критический путь в подготовке изделий и путем последовательного совершенствования делового процесса добиться минимизации сроков подготовки изделия.

Тема 5.3. Примеры САПР (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Unigraphics

Система Unigraphics является CAD/CAM/CAE - системой высокого уровня. Unigraphics позволяет осуществлять полностью виртуальное проектирование изделий, механообработка деталей сложных форм, имеет полностью ассоциативную базу данных мастер-модели, Unigraphics Solutions, одна из самых быстроразвивающихся компаний, производящих системы автоматизированного проектирования, производства и управления проектами, занимается разработкой, продажей и технической поддержкой программного обеспечения для автоматизации проектирования, производства, инженерного анализа и управления проектами для всех областей промышленности, включая автомобилестроение, авиационную и космическую промышленности, станкостроение, производство товаров народного потребления и т.п.

Серия продуктов Unigraphics Solutions, Inc.: Unigraphics Solutions, Parasolid, Solid Edge, Unigraphics, IMAN, ProductVision, GRIP.

<http://www.cosmos.rcnet.ru/>

<http://www.cadpotato.com/> - сайт пользовательской группы Unigraphics.

CATIA

CATIA/CADAM Solutions - это полностью интегрированная универсальная CAD/CAM/CAE система высокого уровня, позволяющая обеспечить параллельное проведение конструкторско-производственного цикла CATIA, являясь универсальной системой автоматизированного проектирования, испытания и изготовления, широко применяется на крупных машиностроительных предприятиях во всем мире для автоматизированного проектирования, подготовки производства, реинжиниринга. Число фирм-пользователей CATIA превышает 8 тысяч.

Функции, поддерживаемые CATIA/CADAM Solutions:

- администрирование - планирование, управление ресурсами, инспектирование и документирование проекта;
- самый совершенный моделинг;
- описание всех механических связей между компонентами объекта и приведение их в состояние пространственного взаимопозиционирования;
- автоматический анализ геометрических и логических конфликтов;
- анализ свойств сложных сборок;
- разработанный инструментарий трассировок систем коммуникаций с соблюдением заданных ограничений;
- специализированные приложения для технологической подготовки производства.

Компании DASSAULT SYSTEMES (Франция) и IBM (США) являются совместными разработчиками и распространителями системы автоматизированного проектирования. В последние три года параллельно существуют две CATIA: версии 4 и 5, причем версия 4 - только на рабочих станциях и на ядре DASSAULT SYSTEMES, а версия 5 - и для PC на ядре CASCADE разработки MATRA (<http://www.opencascade.com>).

<http://www.catia.com>

Pro/ENGINEER

Система высокого уровня, САПР для единого цикла проектирование-производство. Программный комплекс Pro/ENGINEER охватывает весь цикл "конструирование - производство" в машиностроении. Во всем мире более 16000 компаний используют программные продукты фирмы PTC для сокращения длительности сквозных проектно-производственных циклов, оптимизации инженерных процессов и улучшения качества продукции. Ядро Pro/ENGINEER использует уникальную по своим возможностям технологию -- Proven Technology, основанную на граничных представлениях.

<http://pro-technologies.ru/>

SolidEdge

SolidEdge является принципиально новой системой автоматизированного конструирования, которая предназначена для разработки сборочных узлов и геометрического моделирования отдельных деталей. Solid Edge разработан специально для конструирования изделий машиностроения. Является системой среднего уровня, которая обеспечивает эффективное объектно-ориентированное параметрическое моделирование в среде Windows. Базируется на ядре геометрического моделирования Parasolid.

<http://www.cosmos.rcnet.ru>

<http://www.solid-edge.com>

SolidWorks

Мощный машиностроительный CAD пакет для твёрдотельного параметрического моделирования сложных деталей и сборок. Система конструирования среднего класса, базирующаяся на параметрическом геометрическом ядре Parasolid. Создана специально для использования на персональных компьютерах под управлением операционных систем Windows 95 и Windows NT.

<http://www.solidworks.com>

<http://www.delcam.ru>,

Cimatron

Cimatron - интегрированная CAD/CAM - система, предоставляющая полный набор средств для конструирования изделий, разработки чертёжно-конструкторской документации, инженерного анализа, создания управляющих программ для станков с ЧПУ. Cimatron удовлетворяет запросам и требованиям самого широкого круга пользователей, работает на различных платформах, в том числе на персональных компьютерах. Пользователями системы в мире являются около 6000 компаний.

<http://www.cimatron.com>

think3

Система автоматизированного проектирования для машиностроения среднего уровня. Обеспечивает двумерное проектирование, трёхмерное поверхностное и твёрдотельное моделирование, проектирование изделий из листовых материалов, ассоциативность двумерного чертежа с трёхмерной моделью, фотореалистичное представление проекта.

<http://www.think3.com>

CADkey

3D графический пакет для проектирования, твёрдотельного, поверхностного и каркасного моделирования, визуализации и документирования простых и сложных деталей и сборочных единиц. 250000 инсталляций в разных странах.

<http://www.cadkey.com>

Power Solutions

Семейство продуктов Power Solutions охватывает все этапы производственного цикла:

- **PowerShape** - Система трёхмерного моделирования.
- **PowerMILL** - Мощная и простая в использовании автономная система автоматической подготовки управляющих программ для 3/4 координатной фрезерной обработки на любом станке с ЧПУ изделий, спроектированных в любой CAD-системе.
- **CopyCAD** - система преобразования данных, полученных с координатно-измерительной машины, в компьютерную поверхностную модель.
- **PowerINSERT** - пакет для контроля точности с помощью 3-координатных измерительных машин.
- **ArtCAM Pro** - пакет для создания объёмного рельефа на базе плоского рисунка и создания управляющих программ для его мехобработки.
- **DUCT 5** - CAD/CAM - система, позволяет проводить моделирование, черчение и подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ.

<http://www.ascon.ru>

<http://www.delcam.ru>

КОМПАС

Один из лидирующих российских продуктов. CAD-система, предназначенная для широкого спектра проектно-конструкторских работ, лёгкая в освоении, удобная в работе и при этом имеющая стоимость, приемлемую для комплексного оснащения российских предприятий, в том числе средних и малых. Позволяет осуществлять двумерное проектирование и конструирование, быструю подготовку и выпуск разнообразной чертёжно-конструкторской документации, создание технических текстово-графических документов.

Представляет собой интегрированный комплекс, который включает в себя следующие подсистемы проектирования технологий:

- механической обработки;
- штамповки;
- сборки;
- сварки;
- термообработки;
- покрытий;
- гальваники;
- литья;
- расчета норм расхода материалов;
- расчета режимов обработки;
- нормирования трудоемкости технологических операций;
- анализа ТП, позволяющие рассчитать суммарную трудоемкость изготовления деталей и узлов, определять материалоемкость

и себестоимость изделия.

В основу работы САПР ТП «КОМПАС-АВТОПРОЕКТ» положен принцип заимствования ранее принятых технологических решений. В процессе эксплуатации системы накапливаются типовые, групповые, единичные технологии, унифицированные операции, планы обработки конструктивных элементов и поверхностей. При формировании ТП пользователю предоставляется доступ к архивам и библиотекам, хранящим накопленные решения.

Разработка ТП осуществляется в следующих режимах:

- проектирование на основе ТП-аналога (автоматический выбор соответствующего ТП из базы данных с последующей его доработкой в диалоговом режиме);
- формирование ТП из отдельных блоков, хранящихся в библиотеке типовых технологических операций и переходов;
- объединение отдельных операций архивных технологий;
- автоматическая доработка типовой технологии на основе данных, переданных с параметризованного чертежа «КОМПАС-ГРАФИК» (чертёжно-конструкторского редактора);
- разработка ТП в режиме прямого документирования в диалоговом режиме с помощью специальных процедур к справочным базам данных.

В системе реализована процедура, позволяющая проектировать сквозные технологии, включающие одновременно операции механообработки, штамповки, термообработки, сборки, сварки и т.д.

В системе реализованы процедуры, позволяющие глобально корректировать любую информацию в архиве ТП (например, замена устаревших ГОСТов технологической оснастки), рассчитывать суммарную трудоемкость изготовления деталей и сборочных единиц, определять материалоемкость и себестоимость изделия в целом.

Одним из основных преимуществ «КОМПАС-АВТОПРОЕКТ» является возможность модернизации системы без участия разработчика самими пользователями. Корректируются состав и структура всех баз данных, настраиваются формы технологических документов, подключаются новые программные модули.

САПР ТП «КОМПАС-АВТОПРОЕКТ» состоит из ядра и окружения прикладных задач. Основные функциональные режимы системы делятся на две группы: функции подсистемы проектирования и функции подсистемы управления базами данных (СУБД).

Функции подсистемы проектирования:

- автоматизированное проектирование ТП;
- интеграция с «КОМПАС-ГРАФИК» и «КОМПАС-МЕНЕДЖЕР»;
- материальное и трудовое нормирование;
- автоматическое формирование комплекта технологической документации (горизонтальное и вертикальное исполнение);
- каталогизация разработанных ТП в архиве технологий;
- возможность глобального анализа архивных технологий с передачей результатов в автоматизированную систему управления производством;
- возможность разработки сквозного ТП и подключения новых технологических переделов;
- оперативный просмотр графики: чертежей деталей, инструментов, эскизов операций и т.д.;
- возможность настройки образцов технологических документов;
- архивация текущего комплекта технологических документов в архиве карт;
- ведение конструкторско-технологических спецификаций;
- автоматический поиск технологий по коду или текстовому описанию детали в базе данных конструкторско-технологических спецификаций;
- автоматизированное формирование кода детали в соответствии с ЕСКД и ТКД;
- архивация текущего состава спецификаций в архиве изделий;
- расчетные процедуры.

<http://www.ascon.ru/>

T-FLEX CAD

Система параметрического проектирования и черчения T-FLEX CAD является разработкой российской фирмы "Топ Системы". Система обладает следующими основными возможностями: параметрическое проектирование и моделирование; проектирование сборок и выполнение сборочных чертежей; полный набор функций создания и редактирования чертежей; пространственное моделирование, базирующееся на технологии ACIS; параметрическое трёхмерное твёрдотельное моделирование; управление чертежами; подготовка

данных для систем с ЧПУ; имитация движения конструкции.

<http://www.tflex.com>

3D-принтеры

Компьютерные технологии все больше срастаются с реальной жизнью. Однако грань между реальной реальностью и реальностью так сказать, компьютерной или виртуальной остается. Перенести предмет из одной плоскости в другую не так просто. Конечно, если речь идет о тексте, картинках и прочих двухмерных вещах - то принтеры и сканеры уже давно сделали такой обмен делом несложным и совершенно обыденным. Однако в случае с трехмерными физическими объектами все намного сложнее.

Прототипирование является обязательным этапом в процессе разработки любого нового изделия. Создание качественного прототипа, максимально похожего на будущее изделие - весьма непростая задача. Приходится решать проблему точного повторения геометрической формы, собираемости, внешнего вида и поиска материалов, максимально похожих на заданные. В последнее время популярными стали технологии быстрого прототипирования (RP - rapid prototyping), то есть послойного синтеза макета по компьютерной модели изделия. Современный прототип позволяет не только оценить внешний вид детали, но и проверить элементы конструкции, провести необходимые испытания, изготовить мастер-модель для последующего литья. Использование RP-технологий в прототипировании способно на 50 - 80% сократить сроки подготовки производства, практически полностью исключить длительный и трудоемкий этап изготовления опытных образцов вручную, или на станках с ЧПУ.

Построение прототипа обычно происходит на основе твердотельной модели из CAD-систем или модели с замкнутыми поверхностными контурами. Эта модель разбивается на тонкие слои в поперечном сечении с помощью специальной программы, причем толщина каждого слоя равна разрешающей способности оборудования по z-координате. Обычно при разбиении дается припуск на механическую обработку. Построение детали происходит послойно тех пор, пока не будет получен физический прототип.

Принципиальная схема всех установок прототипирования одинакова: на рабочий стол, элеватор установки, наносится тонкий слой материала, воспроизводящего первое сечение изделия, затем элеватор смещается вниз на один шаг и наносится следующий слой. Так слой за слоем воспроизводится полный набор сечений модели повторяя форму требуемого изделия. При этом на некотором слое может оказаться, что отдельные элементы "повисают" в воздухе, поскольку они должны крепиться к верхним слоям. Чтобы избежать такой проблемы, 3D модель предварительно подготавливается, в ней строится система поддержек на каждый такой элемент.

Основным различием между технологиями прототипирования является прототипирующий материал, а также способ его нанесения. В мире существует всего несколько компаний, изготавливающих RP-установки, они постоянно совершенствуют технологию и разрабатывают новые материалы. Остановимся на самых основных технологиях, рассмотрим их характеристики, достоинства и недостатки.

Начнем с вопроса, зачем это нужно? Зачем нужно брать трехмерную модель чего-то и делать из нее реальный предмет? Оказывается, применений хватает. Первое, и самое основное, в индустрии - в основном для быстрого изготовления прототипов - **чтобы посмотреть**, как модель будет выглядеть в материале. По словам представителя авиакосмической компании Pratt & Whitney "стоимость разработки сложного продукта может очень сильно снизиться, если предложить инженерами вместо десятков чертежей посмотреть на реальную деталь".

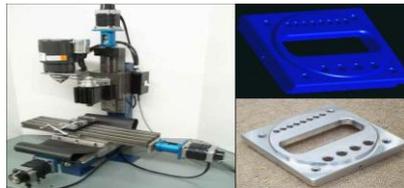


Рис. 5.1. Настольный многофункциональный станок, подключается вместо принтера

Кроме того, на готовой модели **можно проводить различные тесты** еще до того, как будет готов окончательный вариант изделия. Более того, прототипы позволяют проводить такие тесты, которые на готовом изделии и не проведешь. Например, Porsche использовала прозрачную пластиковую модель трансмиссии 911 GT1 для изучения тока масла в процессе ее разработки. Однако главное, такую модель можно сделать очень быстро - а в наше время высоких скоростей это очень важно. Собственно, существует целая индустрия быстрого прототипирования, которая как раз и занимается разработкой и использованием технологий объемной печати для этих целей.

Однако, прототипы - это еще не все. Следующая ступень - **быстрое производство**. Уже сейчас некоторые технологии RP позволяют изготавливать готовые предметы из различных материалов. Это идеальное решение для малосерийного производства, поскольку стандартный техпроцесс дает возможность сделать что угодно (в разумных пределах, конечно) за относительно небольшое время. Опять же, некоторые из технологий трехмерной печати позволяют быстро изготавливать формы для литья - ну а дальше производственный процесс уже накатан. Правда, цены и доступность (равно, как и выбор материалов) пока оставляют желать лучшего.

Микростанки

Наиболее простые, дешевые и доступные устройства, претендующие на звание 3D-принтера, к принтерам на самом деле отношения почти никакого не имеют. Речь идет о станках с программным управлением. Впрочем, если вы представили себе какого-нибудь токарно-винторезного монстра размером с полкомнаты (сразу вспоминаются уроков труда или УПК) - то это зря. Речь идет об очень компактных настольных станочках, которые получили название desktop CNC machines, **станок с числовым программным управлением - Computer Numerically Controlled (CNC)**. Эти устройства могут управляться непосредственно из CAD программ и вырезать, выпиливать и высверливать в материале модели, которые в этих программах разрабатываются. Материалы могут быть почти любые - от пластика или дерева до мягких металлов (бронза, алюминий). К примеру, приведенный на картинке сверлильно-фрезерный станок (это называется CNC milling machine) MicroMill 2000 Desktop Machining System от MicroProto подключается к компьютеру вместо принтера, может обрабатывать объем 23x14x15 см и способен позиционировать инструмент с точностью до сотых долей миллиметра. Обрабатывает алюминий и даже мягкие стали. Стоит эта замечательная штука чуть меньше 2000\$.

К компьютеру может подключаться специальная пьезоэлектрическая сканирующая головка, которая позволяет делать обратное преобразование - переводить реальные предметы в компьютерные трехмерные модели.

CNC-станки делятся на три основных вида: роутеры (routers), фрезерные (mills) и токарные (lathes). Что из себя представляет токарный станок, думаю и так всем понятно. А чем различаются router и mill проще всего понять из рисунка. Из двух вышеописанных устройств первый - mill, а второй - router. Кстати, выпускаются и машинки с четырьмя степенями свободы - до определенной степени сочетающие в себе возможности mill и lathe. Использовать всю эту технику можно как для непосредственного изготовления объектов по трехмерным моделям, так и для подготовки форм для литья - это существенно расширяет область применения. Другие возможные применения - гравировка, быстрое изготовление печатных плат (никаких фотошаблонов и травления), моделирование (любой, кто хоть раз собирал модель планера должен возненавидеть выпиливание лобзиком на всю оставшуюся жизнь) и еще масса других. Ну а получить дополнительную информацию по настольным CNC-станкам можно на сайте www.desktopcnc.com.

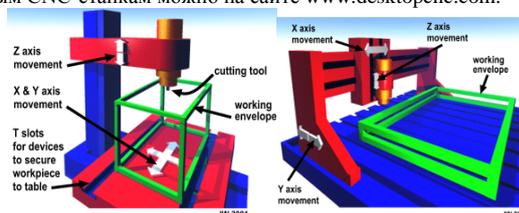


Рис. 5.2. Чем отличаются CNC-Mill и CNC-Router

Лазерная печать. Стереолитография

А теперь перейдем к настоящим объемным принтерам. В них используются несколько различных технологий. Исторически, первой было разработана так называемая **стереолитография – Stereo Lithography Apparatus (Технология SLA)**.

Стереолитография является самым первым и наиболее распространенным методом прототипирования, во многом благодаря достаточно низкой стоимости прототипа. Принцип метода состоит в послойном отверждении жидкого фотополимера лазерным лучом, направляемым сканирующей системой. Элеватор находится в емкости с жидким фотополимерной композицией, и после отверждения очередного слоя смещается вниз с шагом 0,025-0,3 мм. Используется достаточно твердый, но хрупкий полупрозрачный материал, подверженный короблению под влиянием атмосферной влаги. Материал легко обрабатывается, склеивается и окрашивается. Качество поверхностей без доводки хорошее.

Принцип был изобретен и запатентован Чарльзом Халлом (Charles Hull) еще в 1986 году. Затем Халл основал компанию 3D Systems, которая занималась выпуском соответствующего оборудования. Позже к ней присоединились немецкая EOS GmbH, японские Sony-DMEC и Mitsui Engineering, а также несколько других. Суть стереолитографии в следующем - в рабочей зоне принтера находится жидкий фотополимер. При освещении ультрафиолетовым светом фотополимер затвердевает и превращается в достаточно прочный пластик (фотополимеры активно используются дантистами для пломбирования, так что, думаю, многие из читателей с ними знакомы). Для засветки полимера используется либо ультрафиолетовый лазер, либо обычная ультрафиолетовая лампа (о чем чуть позже). Луч лазера фактически попиксельно сканирует рабочую плоскость и формирует отдельные твердые "пиксели", пока не нарисует на пластике сечение модели. Затем уровень фотополимера повышается (точнее, опускается рабочий стол вместе со сформированной частью модели), и поверх него рисуется следующий слой, пока модель не будет полностью готова. Стереолитография позволяет получить точность "отпечатка" порядка десятых долей миллиметра, хорошо воспроизводит мелкие детали и обеспечивает достаточно ровную поверхность объекта. Эта технология лучше всего обкатана и наиболее широко распространена. Впрочем, не лишена она и недостатков - установки, равно как и расходные материалы, достаточно дороги (цена такого принтера составляет порядка сотен тысяч долларов). К тому же обрабатываемый материал ограничивается только фотополимерами.

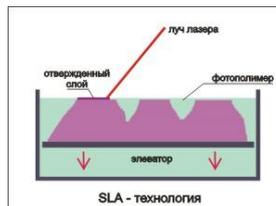


Рис. 5.3. Принцип работы SLA-машины

Более скоростной вариант этой технологии первоначально был разработан компанией Cubital Inc. (ныне, судя по всему, покойной). Назывался он Solid Ground Curing или, сокращенно, SGC. В качестве рабочего материала в ней тоже использовался фотополимер, но засветка производилась ультрафиолетовой лампой сразу для всего рабочего слоя. Засветка велась через фотошаблон, который для каждого слоя печатался на стекле по технологии, напоминающей лазерную печать. Обработка всего слоя одновременно вместо попиксельного сканирования лазерным лучом как раз и позволяла достичь достаточно высокой скорости построения объекта. Сейчас систему на похожем принципе предлагает, например, немецкая компания Envisiontec. Устройством называется Prefactory (весьма говорящее название) и представляет собой систему быстрого прототипирования для конечного пользователя. Машина занимает всего 0,3 квадратного метра площади, так что ее можно установить даже в небольшом офисе. Засветка производится при помощи технологии DLP (Digital Light Processing), аналогичной используемым в компьютерных проекционных системах. Разрешение (для одного рабочего слоя) составляет 1280x1024 пикселя при размере пикселя 150 или 90 микрон. Толщина слоев варьируется от 150 до 50 микрон. На Prefactory можно делать прототипы размером около 190x152x230 мм, а скорость печати составляет до 15 мм в час (в высоту). Управляется принтер встроенным компьютером под управлением Linux, а связь с внешним миром идет по Ethernet через локальную сеть. Фактически, посылать задания на Prefactory можно, как на обычный сетевой принтер.

Производители оборудования:

– 3D Systems www.3dsystems.com

– F&S Stereolithographietechnik GmbH www.fockeleundschwarze.de

– Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН www.laser.ru

Лазерное спекание порошковых материалов

Альтернативный метод трехмерной печати называется **лазерным спеканием – Selective Laser Sintering (Технология SLS)**. В SLS технологии в качестве рабочего материала используются порошковый пластик, металл или керамика, близкие по свойствам к конструкционным маркам. На поверхность наносится тонкий слой порошка, который затем спекается лазерным лучом, формируя твердую массу, соответствующую сечению 3D-модели и определяющую геометрию детали. SLS это единственная технология, которая может быть применена для изготовления металлических деталей и формообразующих для пластмассового и металлического литья. Прототипы из пластмасс обладают хорошими механическими свойствами, могут быть использованы для создания полнофункциональных изделий.

Тут, как легко догадаться, тоже используется лазер, но в качестве рабочего материала выступает уже не фотополимер, а порошок какого-нибудь относительно легкоплавкого пластика. Пластик в рабочем объеме SLS-машины нагревается почти до температуры плавления, а чтобы он не загорелся и не стал окисляться, в рабочую зону подается азот. Затем мощный лазер опять же рисует по пластиковому порошку сечение детали, пластик нагревается выше температуры плавления и спекается. Сверху насыпается следующий слой и процедура повторяется. В конце работы лишний порошок просто стряхивается с готовой модели. Этот процесс был разработан в конце 80-х годов в Техасском университете в Остине и запатентован в 1989 году выпускником университета Карлом Декардом (Carl Deckard). Затем процесс был коммерциализирован фирмой DTM Corp. Лазерное спекание тоже обеспечивает достаточно высокое качество деталей, хотя поверхность у них получается пористой. Зато полученные методом SLS модели - самые прочные и эту технологию, в принципе, можно использовать для малосерийного производства. Правда, установка SLS достаточно сложная и дорога, а скорость производства составляет всего несколько сантиметров (высоты) в час (плюс, несколько часов на нагревание и остывание установки).

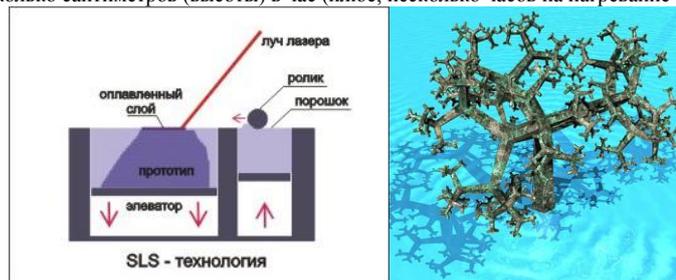


Рис. 5.4. Принцип работы SLS-машины

Кроме неплохой точности изготовления и высокой прочности полученных "распечаток", SLS обладает еще несколькими важными достоинствами. Во-первых, лазерное спекание позволяет изготавливать модели с подвижными частями - например, с работающими петлевыми соединениями, нажимающимися кнопками и так далее. Во-вторых, для SLS-процесса разработаны специальные материалы,

позволяющие напрямую изготавливать металлические детали. В качестве порошка здесь используются микрочастицы стали, покрытые сверху слоем связующего пластика. Спекание пластика происходит как обычно, а затем "отпечатанная" деталь обжигается в печи. При этом пластик выгорает, а освободившиеся поры заполняются бронзой. В результате, получается объект, состоящий на 60% из стали и на остальные 40% и бронзы. По своим механическим характеристикам он превосходит алюминий и приближается к классической нержавеющей стали. Фактически, SLS уже сейчас позволяет производить полноценные металлические предметы, причем произвольной формы. Кроме того, имеется аналогичный материал с керамической или стеклянной сердцевиной - из него можно делать модели, устойчивые к высоким температурам и агрессивным химическим веществам. Если бы только сам процесс не был так дорог...

Производители оборудования:

- 3D Systems www.3dsystems.com
- F&S Stereolithographie GmbH www.fockeleundschwarze.de
- The ExOne Company / Prometal www.prometal.com
- EOS GmbH www.eos-gmbh.de

Ламинирование

Еще одна технология объемной печати с использованием лазера - это **ламинирование** - **Laminated Object Manufacturing (Технология LOM)**. Разработана она была компанией Helysis и проходила под торговой маркой. Сама Helysis в 2000 прекратила существование, а на основе ее технологии сейчас разрабатывают свое оборудование несколько других производителей. Суть технологии такова - в машину по очереди заряжаются тонкие листы рабочего материала, из которого затем лазером вырезаются слои будущей модели. После резки слои склеиваются друг с другом. В качестве материала первоначально использовалась специальная бумага со слоем клеящего вещества. Однако таким образом можно также нарезать тонкий пластик, керамику и даже металлическую фольгу.

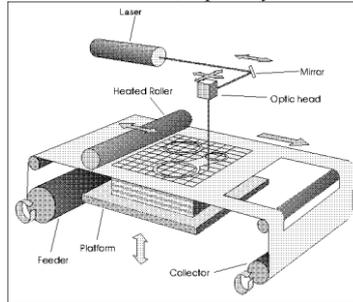


Рис. 5.5. Принцип работы объемного принтера на ламинировании

Струйная печать

Выше были описаны, так сказать, системы лазерной трехмерной печати. Впрочем, струйные принтеры не отстают от лазерных и в этой области. Простейший из процессов "струйной" объемной печати - это так называемое **послойное наложение расплавленной полимерной нити** - **Fused Deposition Modeling (Технология FDM)**. Идея FDM очень проста - раздаточная головка выдавливает на охлаждаемую платформу-основу капли разогретого термопластика (в качестве материала может использоваться практически любой промышленный термопластик). Капли быстро застывают и слипаются друг с другом, формируя слои будущего объекта (печатать здесь тоже ведется по слоям). Техпроцесс FDM позволяет с достаточно высокой точностью (минимальная толщина слоя 0.12 мм) изготавливать полностью готовые к использованию детали довольно большого размера (до 600×600×500 мм). Основы этой технологии были разработаны еще в 1988 Скоттом Крапом (Scott Crump). Основным производителем оборудования для FDM является компания Stratasys.

Используются нити из АБС, поликарбоната или воска. Свойства используемых пластиков очень близки к конструкционным маркам. Термопластичный моделирующий материал подается через выдавливающую головку с контролируемой температурой, нагреваясь там до полужидкого состояния. Головка наносит материал очень тонкими слоями на неподвижное основание с высочайшей точностью. Последующие слои ложатся на предыдущие, отвердевают и соединяются друг с другом. Технология применяется для получения единичных образцов изделий, по своим функциональным возможностям приближенных к серийным, а также для производства выплавляемых моделей для литья металлов.

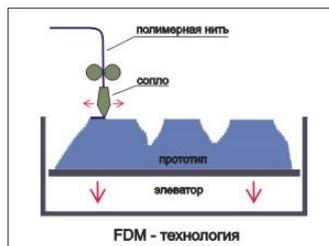


Рис. 5.6. Принцип работы FDM-машины

Производители оборудования:

Stratasys Inc. www.stratasys.com

Кстати, NASA рассматривает технологию FDM в качестве кандидата "космическую фабрику". Ведь в космическую экспедицию нельзя взять неограниченное количество запчастей ко всему оборудованию. Да и разместить полноценный механический цех на космическом корабле вряд ли удастся. А вот загрузить пару сотен килограмм исходного пластика и компактную машину, которая сможет сделать из этого пластика любую деталь - запросто.

Технология струйного моделирования (Ink Jet Modelling)

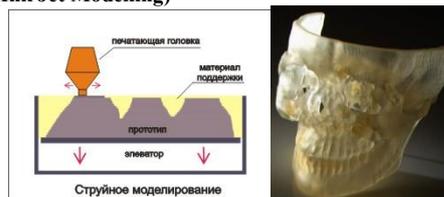


Рис. 5.7. Принцип работы IJM-машины

Различные запатентованные разновидности этой технологии называются:

- MJM (Multi-Jet Modeling) - 3D Systems;
- PolyJet (photopolymer jetting) - Objet Geometries;
- DODJet (Drop-On-Demand-Jet) - Solidscape.

Все технологии имеют свои особенности, но функционируют по одному принципу. Головка, содержащая от двух до 96 сопел наносит модельный и поддерживающий материал на плоскость слоя. После нанесения слоя, могут проводиться его фотополимеризация и механическое выравнивание. В качестве поддерживающего материала обычно используется воск, а в качестве модельного - широкий

спектр материалов, очень близких по свойствам к конструкционным термопластам. Данный метод позволяет получать прозрачные и окрашенные прототипы с различными механическими свойствами - от мягких, резиноподобных до твердых, похожих на пластики.

В принципе, все это довольно похоже на SLA, но намного быстрее, точнее, проще и компактнее. При этом цена на принтеры Objet находится на уровне 60K\$ - в несколько раз меньше, чем у установок SLA. Аналогичную систему под названием InVision производит и компания 3D Systems, так что отец-основатель стереолитографии тоже не стоит на месте. Ценник на эту машину установлен около 40K\$ - системы быстрого прототипирования в последние годы явно дешевеют.

Производители оборудования:

- 3D Systems www.3dsystems.com
- Objet Geometries Ltd. www.2objet.com
- Solidscape, Inc. www.solid-escape.com

Технология склеивания порошков (Binding Powder by Adhesives)

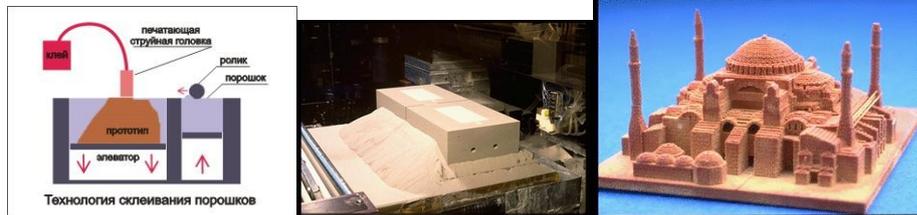


Рис. 5.8. Принцип работы

И еще одна технология "струйной печати", но с использованием порошковых материалов. Разработана она была в знаменитом Массачусетском Технологическом Институте, а первым и основным производителем оборудования стала компания Z Corporation. Ее 3D принтеры относительно недороги (цены от 10 до 30K\$) и работают существенно быстрее вышеописанных устройств. Суть технологии такова - специальная струйная головка (кстати, адаптированная из струйных принтеров Hewlett-Packard) набрызгивает на порошковый материал клеящее вещество. В качестве порошка используется обычный гипс или крахмал. В "забрызганных" местах порошок склеивается и формирует модель. Печать, как и в предыдущих случаях, идет послойно, а лишний порошок в конце стряхивается. Однако есть и существенная разница - этот принтер может использовать клеящие жидкие пигментные красители - а значит, печатает цветные модели. В цветном принтере от Z Corporation установлены 4 струйные головки с чернилами-клеем основных цветов, так что полученная модель может воспроизводить не только форму, но и окраску (то есть, текстуру) своего виртуального прототипа. Правда, гипсовые модели получаются не очень то прочными, но зато их сразу можно использовать в качестве форм для литья. А что касается детализации "отпечатка", то достаточно посмотреть на приведенные фотографии, чтобы ее оценить.

Используются крахмально-целлюлозный порошок и жидкий клей на водной основе, который поступает из струйной головки и связывает частицы порошка, формируя контур модели. По окончании построения излишки порошка удаляются. Для увеличения прочности модели, имеющиеся пустоты могут быть заполнены жидким воском. Такие технологии позволяют не просто создавать 3D-объекты произвольной формы, но еще и раскрашивать их.

Производители оборудования:

- Z Corporation www.zcorp.com

Кстати, интересный вариант вышеописанной порошковой струйной печати разрабатывает компания ProMetal. Ее фирменный производственный процесс под названием **Direct Metal Process** работает абсолютно аналогично. Только вместо гипсового порошка применяется порошок металлический. Далее сформованное изделие обжигается в печи, так что порошок либо сплавляется сам, либо связывается более легкоплавким металлом (как и при лазерном спекании металлических порошков).

Вообще же, перспективы перед 3D печатью открываются самые радужные - эта технология уже позволяет экономить массу времени и сил дизайнерам и инженерам. А что будет, когда она станет доступна на бытовом уровне. Или, хотя бы, в виде недорогой услуги. Представьте себе, что можете сделать любой предмет, который сможете придумать и нарисовать на компьютере... Достаточно нарисовать модель, определить материал и отправить заказ по интернету. Это называется "дистанционное производство по требованию" (Distance Manufacturing on Demand). А вообще такая технология просто обязана рано или поздно стать массовой - и тогда у каждого на столе будет свой персональный механический заводик, заменяющий в мелочах обычное производство. Точно так же, как принтеры заменили типографии и машинописные бюро.

А между тем, дальнейшие разработки в этой области идут полным ходом, так что постоянно можно ожидать чего-нибудь нового и неожиданного. Вот, например, группа ученых из Калифорнийского университета в Беркли разрабатывает технологию трехмерной печати, которая позволила бы одновременно создавать и форму, и содержание. Под содержанием здесь подразумевается ни много, ни мало - **электронная начинка**. Скажем, принтер печатает корпус мобильного телефона из пластика и одновременно печатает внутри всю электронику. В принципе, уже существуют способы печати пластмассовых полупроводниковых устройств и соединяющих их проводов. Осталось только скомбинировать их с существующими технологиями 3D-принтеров и готов революционный прорыв в современном производстве. Нет, конечно, это непростая задача, но решить ее вполне возможно.

Или, вот, например, разработки Университета Миссури, позволяющие при помощи струйника выводить на печать своеобразные **заготовки биологических органов**. В качестве чернил при этом используются сгустки клеток заданного типа. Вместо "бумаги" выступает специальный био-гель, который фиксирует положение клеточных сгустков в пространстве. Печать производится в несколько слоев, так что в результате получается объемная конструкция из клеток, которая, в принципе, может имитировать любой орган (после выращивания клеток гель растворяется, так что возможно получение полых структур). Конечно, печать полноценного органа для пересадки пока представляется слишком сложной задачей, но работа идет.

Ну и, под конец, немного высокого искусства в сочетании с точной наукой. Посмотрите на фотографию - перед вами модель (или, даже скорее, карта) нашей метagalaktiki. В этом стеклянном прямоугольнике размером 7x7x10 сантиметров изображен кусок космоса 100x100x100 мегапарсек. Сделано все в полном соответствии с точными астрономическими данными. А сама картинка выжжена в стекле лазером. Тоже, в общем, своего рода 3D принтер. Посмотреть на другие ее работы можно по адресу www.bathsheba.com.

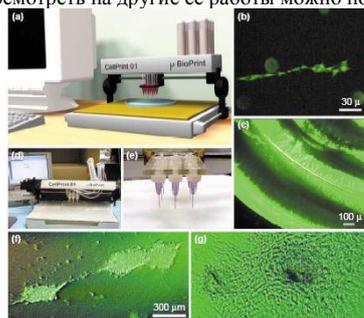


Рис. 5.9. Система для печати клеточными чернилами

Спрос на ИТ со стороны машиностроительных предприятий на мировом рынке стагнирует. Сдерживающие факторы те же, что и для

предприятий других промышленных отраслей — проблемы с интеграцией ранее установленных систем, которые пока не окупили инвестиций. В России процесс информатизации машиностроительных предприятий, по большому счету, только начинается. Некоторыми успехами пока могут похвастаться только компании-лидеры в авиастроении.

Ключевые задачи мировой отрасли машиностроения на данный момент:

- повышение прозрачности спроса с целью быстрого реагирования на колебания рынка;
- повышение отдачи от взаимодействия с клиентами и обработки заказов;
- более быстрый и экономичный вывод на рынок новых продуктов;
- увеличение прибыли от продажи продуктов и услуг за счет расширения программ послепродажной поддержки;
- оптимизация работы с цепочками поставщиков;
- оптимизация обслуживания клиентов и сокращение временных затрат на каждого клиента;
- координация корпоративной системы закупок путем более глубокого анализа затрат.

САПР в машиностроении России

Программные продукты, поддерживающие компьютерное проектирование — CAD/CAM/PDM — в данный момент развиваются достаточно активно. Уверенный подъем этого рынка обусловлен уже отмечаемым выше растущим интересом к полноценным комплексным решениям, а также ростом платежеспособного спроса на них. Необходимость автоматизации всех этапов проектирования, подготовки производства, выпуска продукции в рамках единого решения по управлению предприятием, осознает сейчас подавляющее большинство руководителей отечественных промышленных предприятий. Постепенно это становится залогом удержания своих позиций не только на мировом, но уже и на внутреннем рынке.

Тем не менее, **развитию рынка САПР препятствуют** довольно существенные факторы. Так, неоптимальное налоговое законодательство, не позволяющее напрямую включать покупаемое ПО в затраты на себестоимость продукции, стимулировало распространение нелегальных продуктов. Следствием использования нелегального ПО не только частными лицами, но и крупнейшими предприятиями, становится недополученный вендорами доход, который потенциально мог быть reinvestирован в дальнейшее развитие продуктов, улучшение поддержки клиентов и т.д. С другой стороны, отсутствие хороших информационных каналов ограничивает информированность потребителей о существующих решениях. Вследствие чего предприятия-заказчики часто совершали неоптимальный выбор пакета — как по соотношению цены и качества, так и по соответствию решаемой задаче.

Главной же проблемой остается **несбалансированность предлагаемых на рынке решений** — когда отечественные системы «еще не могут» решать задачи проектирования «тяжелого уровня», а западные (даже локализованные) не приспособлены к выпуску конструкторско-технологической документации, на основании которой строится отчетность.

Внедрение «тяжелых» систем требует перестройки бизнес-процессов, оснащения современным оборудованием, соответствующей подготовки персонала и — серьезных материальных затрат. Не считая аппаратного обеспечения, настройки и обучения пользователей, только стоимость одного рабочего места может начинаться от 10 000 долларов. В этой ситуации возможность иметь на предприятии набор систем от одного производителя, построенных на одном ядре и с единым форматом данных — пока недостижимый идеал. Более того, и сами предприятия, и эксперты рынка с грустью констатируют, что сегодня ни один из поставщиков систем «тяжелого» класса не может предложить оптимального решения за приемлемые деньги и с реальным сроком окупаемости инвестиций. В итоге предприятия пытаются подобрать оптимальное соотношение двухуровневых систем и сталкиваются уже с другими проблемами, в частности, совместимости данных.

Требования к CAD/CAM системам:

- простота освоения;
- возможность работы на недорогой технике;
- простота создания документации различных форм и ее полное соответствие существующим требованиям и стандартам;
- простота передачи данных в другие системы или получение их из других систем;
- наличие высокоуровневых средств создания собственных разработок;
- возможность работы с внешними (распределенными) базами данных;
- хорошие перспективы развития системы;
- оптимальная (приемлемая для массовой закупки) цена.

Провалы проектов САПР в значительной мере определяются не столько действиями интегратора, сколько самого заказчика. Например, маловероятно успешное завершение проекта, если на предприятии не создается инфраструктура, необходимая для масштабного внедрения САПР, либо нет структурного подразделения, координирующего этот процесс. Предприятие часто не готово производить реинжиниринг своих бизнес-процессов и отходить от существующих технологий работы. Достаточно сложно бывает совместить выполнение производственных планов с массовым переобучением персонала. Кроме того, за последнее десятилетие фонд профессиональных кадров катастрофически сократился, поскольку на смену сотрудникам предпенсионного возраста не приходит требуемое количество молодых специалистов. Поэтому при всем потенциале этого рынка его развитие, хотя и не ставится под сомнение, вряд ли будет идти в ближайшие годы семимильными шагами.

Актуальность применения САПР в машиностроении

Успешная деятельность значительной части фирм и коллективов в промышленно развитых странах во многом зависит от их способности накапливать и перерабатывать информацию. Сегодня без компьютерной автоматизации уже невозможно производить современную сложную технику, требующую высокой точности. Во всем мире происходит резкий рост компьютеризации на производстве и в быту. Внедрение компьютерных и телекоммуникационных технологий повышает эффективность и производительность труда. Отставание в области высоких технологий может привести к превращению страны в сырьевой придаток.

В наши дни наблюдается быстрое развитие систем автоматизированного проектирования в таких отраслях, как авиастроение, автомобилестроение, тяжелое машиностроение, архитектура, строительство, нефтегазовая промышленность, картография, геоинформационные системы, а также в производстве товаров народного потребления, например бытовой электротехники. САПР в машиностроении используется для проведения конструкторских, технологических работ, в том числе работ по технологической подготовке производства. С помощью САПР выполняется разработка чертежей, производится трехмерное моделирование изделия и процесса сборки, проектируется вспомогательная оснастка, например штампы и пресс-формы, составляется технологическая документация и управляющие программы (УП) для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), ведется архив. Современные САПР применяются для сквозного автоматизированного проектирования, технологической подготовки, анализа и изготовления изделий в машиностроении, для электронного управления технической документацией.

В настоящее время при продаже производства какой-либо продукции в другие страны необходимо представление всей документации в электронном виде. Продаваемый продукт, как и его производство, должен пройти международную сертификацию, подтверждающую его высокие характеристики. Сертифицирование проходит не только само изделие, но и методы его проектирования, изготовления, способы и формы передачи информации об изделии. Для прохождения сертифицирования необходимо оснастить рабочие места конструктора и технолога компьютерными и программными продуктами.

Объединение САПР с автоматизированной системой управления предприятием (бухгалтерский учет, экономический анализ и прогноз, вопросы материально-технического снабжения, управление складами, планирование и диспетчеризация производственных процессов) позволяет создать единый информационный комплекс. Внедрение информационного комплекса позволяет:

- сократить в 1,5-2 раза цикл создания изделия (от проектирования до выпуска);
- снизить материалоемкость изделия на 20-25%;
- уменьшить затраты на производство на 15-20%;
- повысить качество изделия и конкурентоспособность предприятия (СТИН № 12'98).

В условиях рыночной экономики и активной конкуренции особую остроту для машиностроительных заводов приобретает проблема регулярного обновления продукции, выпуска новых модификаций уже разработанных изделий с тем, чтобы удовлетворить запросы максимального числа потребителей. Прежде чем выпустить новую конкурентоспособную продукцию, необходимо провести большую работу по сбору, накоплению и оперативной обработке информации. Переработка больших объемов информации в настоящее время невозможна без использования ЭВМ.

Создание новой техники в машиностроении происходит в такой последовательности: на основе анализа выпускаемой продукции проектируется новая, обладающая более высокими эстетическими, эксплуатационными или другими свойствами, затем производятся инженерные расчеты и моделирование, технологическая подготовка производства, изготовление и сбыт изделия. При этом мы получаем замкнутый цикл (см. рисунок), так как проектирование нового изделия выполняется на базе анализа рынка и данных об эффективности, надежности и сбыте выпускаемых моделей.

Область применения систем автоматизированного проектирования (САПР) охватывает сегодня самые различные виды деятельности человека — от расстановки мебели в квартире до проектирования и изготовления интегральных микросхем и современной космической техники. Каждая категория задач технического черчения предъявляет к этим продуктам свои требования, однако наибольшее распространение они получили в машиностроении и архитектуре.

Использование САПР позволяет членам проектных групп одновременно работать над изделием с разных сторон: решать задачи стиливого дизайна, проектирования внешнего вида изделия и параллельной поагрегатной разработки изделия. Новое изделие создается в конструкторском подразделении, которое является центральным звеном компьютеризации предприятия. Одновременно группой специалистов различных профилей, работающих над выпуском нового изделия, выполняются все этапы разработки деталей, узлов и сборок, их технологическая проработка (Concurrent engineering).

Изделие начинают изготавливать еще до того, как будет завершена вся документация, что приводит к значительному сокращению сроков и повышает качество проектирования. Облегчается автоматизированное управление проектами и предприятием на базе электронного документооборота. Любые изменения в любом элементе изделия незамедлительно становятся доступными как для отдельных конструкторов и технологов, так и для целых отделов и организаций на всех этапах создания изделия — благодаря использованию единой базы данных. Таким образом, САПР сокращает время и трудозатраты на проектирование изделия.

Для выпуска конкурентоспособной продукции, отвечающей мировым стандартам, необходимо обеспечить использование единой интегрированной базы данных. Интеграция конструкторских и технологических работ, программного обеспечения для документооборота позволяет пользователям управлять всеми типами информации о продукте и проекте — от изменения заказов до контроля качества и ведения дел по обслуживанию клиентов. Такая организация труда особенно эффективна в условиях многономенклатурного производства и в тех случаях, когда предъявляются повышенные требования к оперативности и качеству функционирования производства.

Недостаточная оснащенность конструкторских и технологических подразделений современными САПР приводит к неполной проработке конструктивных и технологических решений, к материальным и временным потерям на стадии изготовления и во время эксплуатации.

4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объём (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1, 2, 3, 4, 5.	Изучение подсистемы «Технология» в САПР «КОМПАС-Автопроект»	25	-
2	1, 2, 3, 4, 5.	Проектирование технологических процессов в САПР «КОМПАС-Автопроект»	26	-
ИТОГО			51	-

4.4. Семинары/ практические занятия

Учебным планом не предусмотрено.

4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		<i>Σ комп.</i>	<i>t_{ср}, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>				
			<i>3</i>	<i>16</i>				
1. Общие принципы построения САПР технологических процессов		28	+	+	2	14	Лк, ЛР, СР	Экзамен
2. Автоматизированное проектирование маршрутной технологии		15	+	+	2	7,5	Лк, ЛР, СР	Экзамен
3. Автоматизированное проектирование операций		16	+	+	2	8	Лк, ЛР, СР	Экзамен
4. Проектирование переходов		59	+	+	2	29,5	Лк, ЛР, СР	Экзамен
5. Организация проектирования технологических процессов на основе современных информационных технологий		35	+	+	2	17,5	Лк, ЛР, СР	Экзамен
<i>всего часов</i>		153	76,5	76,5	2	76,5		

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Скворцов, А.В. Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств: учебник / А.В. Скворцов, А.Г. Схиртладзе. - Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2017. - 635 с.: ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8420-7; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469049>.
2. Выпускная работа бакалавра: [учебное пособие для студентов вузов по направлениям "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств", "Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)"] / В.А. Рогов [и др.]. - Старый Оскол: ТНТ, 2016. - 215 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование издания	Вид занятия	Кол-во экз. в библ., шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
Основная литература				
1.	Соснин, О.М. Средства автоматизации и управления: учебник: [по направлению подготовки "Автоматизация технологических процессов и производств"] / О.М. Соснин, А.Г. Схиртладзе. – Москва: Академия, 2014. – 240 с.	Лк, ЛР, СР	9	1
2.	Трофимов, А.А. Системы автоматизированного проектирования: учебное пособие / А.А. Трофимов, И.М. Ефремов, В.В. Жмуров – Братск: БрГУ, 2015. – 112 с.	Лк, ЛР, СР	17	1
Дополнительная литература				
3.	Проектирование технологических процессов в САПР "КОМПАС-Автопроект": учебное пособие / В.Ю. Попов [и др.]. – Братск: БрГУ, 2006. – 144 с.	Лк, ЛР, СР	79	1
4.	Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств: монография / Под ред. А.С. Янюшкина. – Братск: БрГУ, 2006. – 302 с.	Лк, ЛР, СР	65	1
5.	Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов / И.П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: МГТУ, 2002. – 336 с. – (Информатика в техническом университете).	Лк, ЛР, СР	101	1
6.	Замрий, А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде АРМ Structure3D: учебное пособие / А.А. Замрий. – Москва: АПМ, 2004. – 208 с.	Лк, ЛР, СР	70	1

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ <http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) <https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ <http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Номер раздела Основные положения раздела, рекомендуемые для СР	Рекомендуемая литература	Форма отчета	Всего часов
1.	1. Общие принципы построения САПР технологических процессов 1.1. Пути повышения качества и производительности проектирования на основе использования ЭВМ 1.2. Модульный принцип построения САПР 1.3. САПР как объект проектирования 1.4. Классификация САПР ТП	[1], [2], [3], [4], [5], [6]	Экзамен, ЛР №1, ЛР №2	20
2.	2. Автоматизированное проектирование маршрутной технологии 2.1. Цель и исходные данные при проектировании маршрутной технологии	[1], [2], [3], [4], [5], [6]	Экзамен, ЛР №1, ЛР №2	12
3.	3. Автоматизированное проектирование операций 3.1. Цель проектирования и оптимизации технологических операций	[1], [2], [3], [4], [5], [6]	Экзамен, ЛР №1, ЛР №2	13
4.	4. Проектирование переходов 4.1. Исходные данные при проектировании переходов 4.2. Оптимизация переходов 4.3. Назначение режущего инструмента 4.4. Назначение измерительных средств	[1], [2], [3], [4], [5], [6]	Экзамен, ЛР №1, ЛР №2	20
5.	5. Организация проектирования технологических процессов на основе современных информационных технологий 5.1. Современные информационные технологии 5.2. Обзор САПР 5.3. Примеры САПР	[1], [2], [3], [4], [5], [6]	Экзамен, ЛР №1, ЛР №2	20
ИТОГО				85

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ

В полном объёме, с вариантами заданий, с примером их выполнения методические указания доступны в учебном пособии: **Проектирование технологических процессов в САПР "КОМПАС-Автопроект"**: учебное пособие / В.Ю. Попов [и др.]. – Братск: БрГУ, 2006. – 144 с.

Лабораторная работа № 1

Изучение подсистемы «Технология» в САПР «КОМПАС-Автопроект»

Цель работы:

Изучение подсистемы «Технология» в САПР «КОМПАС-Автопроект».

Содержание работы

- автоматизированное проектирование технологических процессов основных видов производств;
- автоматическое формирование ГОСТИрованного комплекта технологической документации и документов произвольной формы в горизонтальном и вертикальном исполнении;
- интеграция с «КОМПАС-ГРАФИК» – оперативный просмотр графики: чертежи деталей, инструментов, операционные эскизы, карты наладок и т.д.;
- интеграция с «КОМПАС-МЕНЕДЖЕР», обмен данными о составе изделий;
- возможность разработки сквозного ТП;
- автоматическая нумерация технологических операций и переходов;
- расчет режимов резания;
- трудовое нормирование технологических операций;
- возможность настройки образцов технологических документов;
- переводчик технологий на иностранный язык;

- возможность разработки подсистем проектирования технологий для иных видов производств самим пользователем;
- автоматизированное формирование кода детали в соответствии ЕСКД и ТКД;
- расчетные процедуры.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципом работы системы.
2. Ознакомиться с конструкторско-технологической спецификацией.
3. Осуществить регистрацию документов.
4. Сформировать сводные ведомости.
5. Ознакомиться с архиватором технологий.
6. Осуществить расчёт веса заготовки.
7. Разработать технологический процесс.
8. Сформировать переходы.
9. Вставить и просмотреть эскизы операций.
10. Сформировать комплект технологических карт.
11. Провести трудовое нормирование.
12. Сделать расчет режимов резания.
13. Оформить отчёт и сделать выводы.

Форма отчётности: отчёт по лабораторной работе должен содержать: цель работы, краткие теоретические сведения о решаемой задаче, описание работы в соответствии с порядком ее выполнения, выводы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Лабораторная работа выполняется в соответствии с информацией, полученной на лекционном курсе, а также собранной студентом самостоятельно из предложенных источников. Полученные результаты обсуждаются и согласовываются с ведущим преподавателем.

Рекомендуемые источники

1. Скворцов, А.В. Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств: учебник / А.В. Скворцов, А.Г. Схиртладзе. - Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2017. - 635 с.: ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8420-7; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469049>.
2. Выпускная работа бакалавра: [учебное пособие для студентов вузов по направлениям "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств", "Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)"] / В.А. Рогов [и др.]. - Старый Оскол: ТНТ, 2016. - 215 с.

Основная литература

1. Соснин, О.М. Средства автоматизации и управления: учебник: [по направлению подготовки "Автоматизация технологических процессов и производств"] / О.М. Соснин, А.Г. Схиртладзе. – Москва: Академия, 2014. – 240 с.
2. Трофимов, А.А. Системы автоматизированного проектирования: учебное пособие / А.А. Трофимов, И.М. Ефремов, В.В. Жмуров – Братск: БрГУ, 2015. – 112 с.

Дополнительная литература

3. Проектирование технологических процессов в САПР "КОМПАС-Автопроект": учебное пособие / В.Ю. Попов [и др.]. – Братск: БрГУ, 2006. – 144 с.
4. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств: монография / Под ред. А.С. Янюшкина. – Братск: БрГУ, 2006. – 302 с.
5. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов / И.П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: МГТУ, 2002. – 336 с. – (Информатика в техническом университете).
6. Замрий, А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде APM Structure3D: учебное пособие / А.А. Замрий. – Москва: АПМ, 2004. – 208 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Автоматизированное проектирование маршрутной технологии: постановка задачи.
2. Автоматизированное проектирование операций: постановка задачи.
3. Суть оптимизации технологических операций.
4. Проектирование переходов: постановка задачи.
5. Входные данные к проектированию переходов.
6. Выходные данные к проектированию переходов.
7. Суть оптимизации переходов.

Лабораторная работа № 2

Проектирование технологических процессов в САПР «КОМПАС-Автопроект»

Цель работы:

Разработать ТП изготовления маховика задвижки.

Содержание работы

Изучение конструкции и работы робота МП-11 и его технических характеристик: компоновка манипулятора, механизм подъема, механизм поворота, модуль поступательный (рука), демпфер руки, модуль поступательный (сдвиг схвата), модуль вращательный (ротации схвата), амортизатор механизма поворота, демпфер, схват, указания мер безопасности, подготовка промышленного робота к работе, характерные поломки и методы их устранения.

Порядок выполнения работы

1. Очистить текущую технологию.
2. Затем производят ввод данных в таблицу «Деталь». На данном уровне должна находиться только одна активная строка.
3. Затем переходят к формированию операций. Для этого переходят на уровень операций и первым действием клавишей «Ins» добавляются пустые строки, в которых и будет формироваться ТП.
4. Столбец «Номер операции» заполняется вручную, а остальные шаги в автоматическом режиме, в столбце «Операция».
5. Далее переходят к формированию переходов. Здесь первым действием также будет добавление пустых строчек.
6. После заполнения всех переходов на какой-либо операции производят их автоматическую нумерацию.
7. Последним действием при разработке ТП становится расчёт основного времени на уровне операций. Этот расчёт также проводится автоматически, при наличии всех режимов резания.
8. После этого ТП проверяют на наличие ошибок и соответствие его действующим стандартам. Замеченные ошибки (орфографические и грамматические) исправляются и редактируются нажатием клавиши F4.
9. Оформить отчёт и сделать выводы.

Форма отчётности: отчёт по лабораторной работе должен содержать: цель работы, краткие теоретические сведения о решаемой задаче, описание работы в соответствии с порядком ее выполнения, выводы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Лабораторная работа выполняется в соответствии с информацией, полученной на лекционном курсе, а также собранной студентом самостоятельно из предложенных источников. Полученные результаты обсуждаются и согласовываются с ведущим преподавателем.

Рекомендуемые источники

1. Скворцов, А.В. Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств: учебник / А.В. Скворцов, А.Г. Схиртладзе. - Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2017. - 635 с.: ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8420-7; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469049>.
2. Выпускная работа бакалавра: [учебное пособие для студентов вузов по направлениям "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств", "Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)"] / В.А. Рогов [и др.]. - Старый Оскол: ТНТ, 2016. - 215 с.

Основная литература

1. Соснин, О.М. Средства автоматизации и управления: учебник: [по направлению подготовки "Автоматизация технологических процессов и производств"] / О.М. Соснин, А.Г. Схиртладзе. – Москва: Академия, 2014. – 240 с.
2. Трофимов, А.А. Системы автоматизированного проектирования: учебное пособие / А.А. Трофимов, И.М. Ефремов, В.В. Жмуров – Братск: БрГУ, 2015. – 112 с.

Дополнительная литература

3. Проектирование технологических процессов в САПР "КОМПАС-Автопроект": учебное пособие / В.Ю. Попов [и др.]. – Братск: БрГУ, 2006. – 144 с.
4. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств: монография / Под ред. А.С. Янюшкина. – Братск: БрГУ, 2006. – 302 с.

5. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов / И.П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: МГТУ, 2002. – 336 с. – (Информатика в техническом университете).
6. Замрий, А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде APM Structure3D: учебное пособие / А.А. Замрий. – Москва: АПМ, 2004. – 208 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Опишите основное окно системы «КОМПАС-Автопроект».
2. Опишите режим «Редактирование записи».
3. Опишите режим архиватора технологии.
4. Опишите процесс выбора материалов в «КОМПАС-Автопроект».
5. Опишите процесс редактирования операции.
6. Опишите процесс очистки технологии.
7. Опишите выбор типа перехода.
8. Опишите режим нумерации переходов.
9. Опишите процесс формирования комплекта карт.
10. Опишите процесс расчёта режимов резания.
11. Опишите ввод исходных данных о детали.

9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата

Учебным планом не предусмотрено.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникативные технологии (ИКТ) используются для:

- получения информации при подготовке к занятиям;
- создания презентационного сопровождения занятий;
- работы в электронной информационной среде.

Стандартное лицензионное программное обеспечение:

1. Microsoft Imagine Premium: Microsoft Windows Professional 7.
2. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level.
3. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
4. КОМПАС-3D V13.
5. Adobe Reader.

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ Лк, ЛР, ПЗ</i>
Лк	Лекционная / семинарская аудитория	Учебная мебель	-
ЛР	Лаборатория автоматизации систем проектирования	Учебная мебель; Системный блок (AMD 690G, mANX, HDD Seagate 250Gb, DIMMDDR//2*512Mb, DVDRV,FDD; Системный блок CelD-315; Системный блок CPU 4000.2*512MB; Монитор Терминал TFT 19 LG L1953S-SF; Системный блок AMD Athlon 64X2; Системный блок Celeron 2,66; Сканер HP 3770; Монитор 15 LG; Системный блок iCel 433; Принтер HP LJ P2015	ЛР №1...2
СР	Читальный зал № 1	Учебная мебель; 10-ПК i5-2500/H67/4Gb (мониторTFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-3	способность использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности	1. Общие принципы построения САПР технологических процессов 2. Автоматизированное проектирование маршрутной технологии 3. Автоматизированное проектирование операций 4. Проектирование переходов 5. Организация проектирования технологических процессов на основе современных информационных технологий	1.1. Пути повышения качества и производительности проектирования на основе использования ЭВМ 1.2. Модульный принцип построения САПР 1.3. САПР как объект проектирования 1.4. Классификация САПР ТП 2.1. Цель и исходные данные при проектировании маршрутной технологии 3.1. Цель проектирования и оптимизации технологических операций 4.1. Исходные данные при проектировании переходов 4.2. Оптимизация переходов 4.3. Назначение режущего инструмента 4.4. Назначение измерительных средств 5.1. Современные информационные технологии 5.2. Обзор САПР 5.3. Примеры САПР	Экзаменационные вопросы
ПК-16	способность осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации			

2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1.	ОПК-3	способность использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности	1. История создания систем 2. САПР как объект проектирования. 3. Состав и структура САПР. 4. Виды обеспечения САПР. 5. Техническое обеспечение САПР. 6. Программное обеспечение САПР. 7. Классификация САПР ТП. 8. Уровни автоматизации. 9. Оптимизация переходов. 10. Структура перехода. 11. Расчет припусков. 12. Расчет режимов резания. 13. Оптимизация режимов резания. 14. Назначение режущего инструмента. 15. Назначение измерительных средств. 16. Формирование содержания перехода. 17. Перспективы развития САПР ТП. 18. Примеры САПР САД-систем. 19. Примеры САПР САМ-систем. 20. Примеры САПР САЕ-систем. 21. САПР ТП «КОМПАС-Автопроект». 22. 3D-принтеры: виды, возможности, характеристики. 23. Опишите кратко систему трехмерного твердотельного моделирования «КОМПАС-3D». 24. Опишите кратко чертежно-конструкторский редактор «КОМПАС-График».	1. Общие принципы построения САПР технологических процессов 2. Автоматизированное проектирование маршрутной технологии 3. Автоматизированное проектирование операций 4. Проектирование переходов 5. Организация проектирования технологических процессов на основе современных информационных технологий
2.	ПК-16	способность осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации		

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать ОПК-3 - современные информационные технологии, прикладные программные средства; ПК-16 - методы совершенствования технологий, систем и средств машиностроительных производств.</p> <p>Уметь ОПК-3 - использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности; ПК-16 - разрабатывать и внедрять оптимальные технологии изготовления машиностроительных изделий.</p> <p>Владеть ОПК-3 - навыками использования современных информационных технологий, прикладных программных средств при решении задач профессиональной деятельности; ПК-16 - навыками выбора и эффективного использования материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.</p>	отлично	<p>- даны исчерпывающие и обоснованные ответы на все поставленные вопросы;</p> <p>- ответы изложены грамотно, уверенно, логично, последовательно;</p> <p>- опираясь на усвоенные знания, четко увязывает научные положения с практической деятельностью;</p> <p>- свободно владеет основными понятиями дисциплины.</p>
	хорошо	<p>- даны полные, достаточно обоснованные ответы на поставленные вопросы;</p> <p>- твердо усвоил тему, грамотно и по существу излагает ее, опираясь на полученные знания;</p> <p>- не допускает существенных неточностей;</p> <p>- увязывает усвоенные знания с практической деятельностью;</p> <p>- владеет системой основных понятий дисциплины.</p>
	удовлетворительно	<p>- даны в основном правильные ответы на все поставленные вопросы, но без достаточного обоснования;</p> <p>- допускает несущественные ошибки и неточности;</p> <p>- испытывает затруднения в практическом применении полученных знаний;</p> <p>- слабо аргументирует научные положения;</p> <p>- частично владеет системой основных понятий дисциплины.</p>
	неудовлетворительно	<p>- допускает существенные ошибки и неточности при ответе на поставленные вопросы;</p> <p>- испытывает трудности в практическом применении полученных знаний;</p> <p>- не может аргументировать научные положения;</p> <p>- не владеет системой основных понятий дисциплины.</p>

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» направлена на участие в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий с использованием современных информационных технологий при изготовлении машиностроительной продукции, включая использование современных информационных технологий при проектировании машиностроительных изделий, производств.

Процесс прохождения дисциплины включает развитие способностей использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности; способностей осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации

Изучение дисциплины «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» предусматривает:

- лекции;
- лабораторные работы;
- самостоятельную работу;
- экзамен.

В ходе освоения раздела 1 «Общие принципы построения САПР технологических процессов»

студенты должны узнать пути повышения качества и производительности проектирования на основе использования ЭВМ, модульный принцип построения САПР, историю создания систем, информатизацию российского машиностроения, САПР как объект проектирования, состав и структура САПР, виды обеспечения САПР, перспективы развития САПР ТП, классификацию САПР ТП, САПР в компьютерно-интегрированном производстве, уровни автоматизации, формирование содержания перехода, стратегии проектирования технологических процессов, методики автоматизированного проектирования ТП, оптимизацию технологических процессов в САПР ТП, хранение результатов проектирования.

В ходе освоения раздела 2 «Автоматизированное проектирование маршрутной технологии» студенты должны раскрыть суть автоматизированного проектирования маршрутной технологии.

В ходе освоения раздела 3 «Автоматизированное проектирование операций» студенты должны ознакомиться с постановкой задачи оптимизации технологических операций.

В ходе освоения раздела 4 «Проектирование переходов» студенты должны ознакомиться с постановкой задачи, входными данными, выходными данными, оптимизацией переходов, структурой перехода, общими принципами проектирования переходов, расчетом припусков, расчетом режимов резания, назначением режущего инструмента, назначением измерительных средств.

В ходе освоения раздела 5 «Организация проектирования технологических процессов на основе современных информационных технологий» студенты должны уяснить современные информационные технологии, обзор САПР: вчера и сегодня, примеры САПР, 3D-принтеры, информатизацию машиностроения: запоздалое начало, САПР в машиностроении России, актуальность применения САПР в машиностроении.

Необходимо знать современные информационные технологии, прикладные программные средства, а также методы совершенствования технологий, систем и средств машиностроительных производств. Необходимо уметь: использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности, а также разрабатывать и внедрять оптимальные технологии изготовления машиностроительных изделий. Необходимо владеть: навыками использования современных информационных технологий, прикладных программных средств при решении задач профессиональной деятельности, а также навыками выбора и эффективного использования материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить вопросам автоматизации проектирования технологических переходов для выполнения конкретных производственных задач.

В процессе проведения лабораторных работ происходит закрепление знаний по изучению подсистемы «Технология» в САПР «КОМПАС-Автопроект» и проектированию технологических процессов в САПР «КОМПАС-Автопроект»

Самостоятельную работу необходимо начинать с ознакомления с предложенной основной и дополнительной литературой для последующего рассмотрения вопросов, связанных с системами автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий в интерактивной, активной, инновационной формах в тренингах с малой группой в сочетании с внеаудиторной работой.

АННОТАЦИЯ
рабочей программы дисциплины
Системы автоматизированного проектирования
технологических процессов

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является – участие в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий с использованием современных информационных технологий при изготовлении машиностроительной продукции, включая использование современных информационных технологий при проектировании машиностроительных изделий, производств.

Задачами изучения дисциплины является:

- развитие способностей использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности, осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.

2. Структура дисциплины

2.1. Распределение трудоёмкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: лекции – 17 часов; лабораторные работы – 51 час; самостоятельная работа – 85 часов.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 180 часов, 5 зачетных единиц.

2.2. Основные разделы дисциплины:

1. Общие принципы построения САПР технологических процессов.
2. Автоматизированное проектирование маршрутной технологии.
3. Автоматизированное проектирование операций.
4. Проектирование переходов.
5. Организация проектирования технологических процессов на основе современных информационных технологий.

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-3 – способность использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности.

ПК-16 – способность осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации;

4. Вид промежуточной аттестации: Экзамен.

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20___-20___ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры ТМ №___ от «___» _____ 20 ___ г.,

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

(Ф.И.О.)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-3	способность использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности	1. Общие принципы построения САПР технологических процессов 2. Автоматизированное проектирование маршрутной технологии 3. Автоматизированное проектирование операций 4. Проектирование переходов 5. Организация проектирования технологических процессов на основе современных информационных технологий	1.1. Пути повышения качества и производительности проектирования на основе использования ЭВМ 1.2. Модульный принцип построения САПР 1.3. САПР как объект проектирования 1.4. Классификация САПР ТП 2.1. Цель и исходные данные при проектировании маршрутной технологии 3.1. Цель проектирования и оптимизации технологических операций 4.1. Исходные данные при проектировании переходов 4.2. Оптимизация переходов 4.3. Назначение режущего инструмента 4.4. Назначение измерительных средств 5.1. Современные информационные технологии 5.2. Обзор САПР 5.3. Примеры САПР	Отчет по ЛР 1, 2.
ПК-16	способность осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации			

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
Знать <i>ОПК-3</i> - современные информационные технологии, прикладные программные средства; <i>ПК-16</i> - методы совершенствования технологий, систем и средств машиностроительных производств.	зачтено	- даны исчерпывающие и обоснованные ответы на все поставленные вопросы; - ответы изложены грамотно, уверенно, логично, последовательно; - опираясь на усвоенные знания, четко увязывает научные положения с практической деятельностью; - свободно владеет основными понятиями дисциплины.
Уметь <i>ОПК-3</i> - использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности; <i>ПК-16</i> - разрабатывать и внедрять оптимальные технологии изготовления машиностроительных изделий.		
Владеть <i>ОПК-3</i> - навыками использования современных информационных технологий, прикладных программных средств при решении задач профессиональной деятельности; <i>ПК-16</i> - навыками выбора и эффективного использования материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации	не зачтено	- допускает существенные ошибки и неточности при ответе на поставленные вопросы; - испытывает трудности в практическом применении полученных знаний; - не может аргументировать научные положения; - не владеет системой основных понятий дисциплины.