

Вопросы к экзамену по САПР ТП

№ пп	Вопросы	Ссылки на литературные источники, стр.
1	Определение понятия САПР	[2] стр. 9
2	Понятие о технологическом процессе	[2] стр. 9-11
3	Детализация цели проектирования технологического процесса и хранение его результатов	[2] стр. 11-12; [1] с. 22-23
4	Состав технической подготовки производства	[2] стр. 12-15
5	Состав функций и задач ТПП	[2] стр. 15-16
6	Блок схема функций ТПП	[2] стр. 17
7	Описание внешних связей ТПП	[2] стр. 18-19
8	Описание внутренних связей ТПП	[2] стр. 19-21
9	Средства автоматизации функций и задач ТПП	[2] стр. 21-22
10	Место САПР ТПП в системе комплексной автоматизации процессов проектирования и производства	[2] стр. 22-23
11	Стадии жизненного цикла изделия	[2] стр. 24-25
12	Понятия, относящиеся к САПР, принятые в зарубежной литературе	[2] стр. 25-27
13	Связи этапов жизненного цикла изделий и автоматизированных систем	[2] стр. 27-30
14	Необходимость автоматизации проектирования технологических процессов	[1] стр.4
15	Возможность автоматизации проектирования технологических процессов	[1] стр.5
16	История создания систем	[1] стр.6-7
17	Предпосылки для внедрения САПР ТП	[1] стр.8
18	Классификация систем автоматизированного проектирования	[1] стр.9
19	Виды обеспечения САПР ТП	[1] стр.10-11; [2] стр. 109-111
20	Технологическая унификация и процесс принятия решения в САПР ТП	[2] стр. 31-33; [1] стр. 14-15
21	Разновидности технологического проектирования и моделирование структуры технологического процесса	[2] стр. 33-36; [1] стр. 12-13
22	Функциональная схема САПР ТП	[2] стр. 36-37

№ пп	Вопросы	Ссылки на литературные источники, стр.
23	Варианты обработки информации в САПР ТП (Уровни автоматизации)	[2] стр. 38-39; [1] стр. 20-21
24	Классификация и кодирование информации о детали	[2] стр. 40-42
25	Таблица кодированных сведений	[2] стр. 42-43
26	Формализованный язык	[2] стр. 43
27	Представление данных в САПР	[2] стр.45-46
28	Представление знаний в САПР	[2] стр.47-49
29	Понятие о таблицах решений	[2] стр.50
30	Комплексная таблица решений	[2] стр.50-52
31	Таблицы решений с ограниченными входами	[2] стр.52-54
32	Таблицы решений с расширенными входами	[2] стр.54-55
33	Понятие о методах автоматизированного проектирования ТП, процесс принятия решений в САПР ТП	[2] стр.57, [1] стр.24-26
34	Метод прямого документирования	[2] стр.57-58
35	Параметрический метод	[2] стр.58-59
36	Метод использования аналогов	[2] стр.59-60; [1] стр.30-31
37	Метод проектирования на основе типизации	[2] стр.60
38	Метод синтеза	[2] стр.60-61
39	Разработка автоматизированной системы на основе типизации	[2] стр.62-64
40	Проектирование конкретного технологического процесса	[2] стр.64-65
41	Общий подход к проектированию маршрута методом синтеза	[1] стр.32-33
42	Выбор исходной заготовки при проектировании ТП методом синтеза	[1] стр.34-35, 47
43	Типовые схемы обработки поверхностей при проектировании ТП методом синтеза	[1] стр.36-37
44	Формирование и упорядочение укрупненных операций при проектировании ТП методом синтеза	[1] стр.37; [2] стр.67-68
45	Общая постановка задачи разработки оптимальных технологических процессов	[1] стр.16

№ пп	Вопросы	Ссылки на литературные источники, стр.
46	Поисковые методы оптимизации, используемые при разработке технологии	[1] стр.17
47	Направления сокращения вариантности проектируемых технологических процессов	[1] стр.18-19
48	Основные факторы, влияющие на маршрут обработки поверхности детали	[2] стр.69-70
49	Определение вариантов обработки поверхности с применением графов	[2] стр.70-73, [1] стр.12-13
50	Выбор оптимального маршрута обработки поверхности	[2] стр.73-74
51	Понятие о разработке принципиальной схемы технологического процесса	[2] стр.76
52	Формирование перечня этапов обработки	[2] стр.76-78
53	Выбор этапов обработки	[2] стр.78-81
54	Уточнение методов обработки и выбор оборудования	[2] с.82-85; [1] с.27; [1] с.41-43
55	Выбор технологических баз и типа приспособления	[2] с.86-88; [1] с.43-45
56	Формирование последовательности операций	[2] с.88-89; [1] с.27-30
57	Формирование структуры операций	[2] с.90; [1] с.38, 40
58	Расчет технологических размеров	[2] с.92-96; [1] с.45-46
59	Понятие о проектировании операций	[2] с.98
60	Выбор обозначения приспособления и СОЖ	[2] с.98-99
61	Дополнение условного маршрута обработки до полного маршрута	[2] с.99-100
62	Понятие о проектировании переходов	[2] с.101; [1] с.48-54
63	Выбор режущего и измерительного инструмента	[2] с.101-103; [1] с.60-63
64	Назначение измерительных средств	[1] с.63-65
65	Расчет припусков	[1] с.55-56
66	Определение режимов обработки	[2] с.103-107; [1] с.56-60
67	Определение нормы времени	[2] с.107
68	Предпроектные исследования	[2] с.112-115
69	Техническое задание	[2] с.115-116

№ пп	Вопросы	Ссылки на литературные источники, стр.
70	Эскизный проект	[2] с.116
71	Технический проект	[2] с.116-117
72	Разработка рабочей документации	[2] с.117
73	Принципы разработки САПР	[2] с.117-118
74	Понятие о процессе сборки изделия	[2] с.120-121
75	Формализация задач проектирования ТП сборки	[2] с.122-124
76	Состав и функции информационных технологий	[1] с.65-66
77	Обзор современных PDM-систем	[1] с.66-67
78	Эффективность применения и дополнительные возможности использования PDM-систем	[1] с.68
79	Подходы, применяемые при синтезе маршрута с использованием PDM-системы	[1] с.69
80	Автоматизация поиска нормативно-справочной информации на базе PDM-системы	[1] с.70
81	Использование таблиц решений при создании САПР ТП	[1] с.71
82	Создание единого информационного пространства и модели проблемной среды при внедрении САПР ТП	[1] с.72
83	Назначение средств технологического оснащения при помощи PDM-системы	[1] с.73
84	Жизненный цикл технологического документа при использовании PDM-системы	[1] с.74-75
85	Основные принципы маршрутизации деловых процессов	[1] с.76
86	Параллельная маршрутизация делового процесса	[1] с.77-78
87	Системы CADMECH, Search и TechCARD	[2] с.126-129
88	Системы Компас, Вертикаль и Лоцман: PLM	[2] с.129-130
89	Системы T-Flex: CAD, Технология и DOCs	[2] с.130-131
90	Сравнительный анализ систем автоматизированного проектирования технологических процессов	[2] с.132-136
91	Перспективы развития автоматизации проектирования технологических процессов	[1] с.78-80
	Литература	

Ответы на экзаменационные вопросы по САПР ТП

1	Определение понятия САПР	7
2	Понятие о технологическом процессе	7
3	Детализация цели проектирования технологического процесса и хранение его результатов	8
4	Состав технической подготовки производства	11
5	Состав функций и задач ТПП	11
6	Блок схема функций ТПП	14
7	Описание внешних связей ТПП	15
8	Описание внутренних связей ТПП	16
9	Средства автоматизации функций и задач ТПП	18
10	Место САПР ТПП в системе комплексной автоматизации процессов проектирования и производства	19
11	Стадии жизненного цикла изделия	20
12	Понятия, относящиеся к САПР, принятые в зарубежной литературе	21
13	Связи этапов жизненного цикла изделий и автоматизированных систем	23
14	Необходимость автоматизации проектирования технологических процессов	25
15	Возможность автоматизации проектирования технологических процессов	25
16	История создания систем	27
17	Предпосылки для внедрения САПР ТП	29
18	Классификация систем автоматизированного проектирования	30
19	Виды обеспечения САПР ТП	31
20	Технологическая унификация и процесс принятия решения в САПР ТП	32
21	Разновидности технологического проектирования и моделирование структуры технологического процесса	35
22	Функциональная схема САПР ТП	39
23	Варианты обработки информации в САПР ТП (Уровни автоматизации)	40
24	Классификация и кодирование информации о детали	42
25	Таблица кодированных сведений	43
26	Формализованный язык	44
27	Представление данных в САПР	44
28	Представление знаний в САПР	45
29	Понятие о таблицах решений	46
30	Комплексная таблица решений	46
31	Таблицы решений с ограниченными входами	47
32	Таблицы решений с расширенными входами	48
33	Понятие о методах автоматизированного проектирования ТП, процесс принятия решений в САПР ТП	48
34	Метод прямого документирования	49
35	Параметрический метод	50
36	Метод использования аналогов	51
37	Метод проектирования на основе типизации	52
38	Метод синтеза	54
39	Разработка автоматизированной системы на основе типизации	55
40	Проектирование конкретного технологического процесса	56
41	Общий подход к проектированию маршрута методом синтеза	57
42	Выбор исходной заготовки при проектировании ТП методом синтеза	58
43	Типовые схемы обработки поверхностей при проектировании ТП методом синтеза	59
44	Формирование и упорядочение укрупненных операций при проектировании ТП методом синтеза	60
45	Общая постановка задачи разработки оптимальных технологических процессов	61

46	Поисковые методы оптимизации, используемые при разработке технологии	62
47	Направления сокращения вариантности проектируемых технологических процессов..	63
48	Основные факторы, влияющие на маршрут обработки поверхности детали	65
49	Определение вариантов обработки поверхности с применением графов	66
50	Выбор оптимального маршрута обработки поверхности.....	67
51	Понятие о разработке принципиальной схемы технологического процесса	68
52	Формирование перечня этапов обработки	68
53	Выбор этапов обработки.....	69
54	Уточнение методов обработки и выбор оборудования	70
55	Выбор технологических баз и типа приспособления	71
56	Формирование последовательности операций	73
57	Формирование структуры операций.....	75
58	Расчет технологических размеров	75
59	Понятие о проектировании операций.....	77
60	Выбор обозначения приспособления и СОЖ	78
61	Дополнение условного маршрута обработки до полного маршрута	78
62	Понятие о проектировании переходов	79
63	Выбор режущего и измерительного инструмента.....	81
64	Расчет припусков.....	82
65	Назначение измерительных средств.....	84
66	Определение режимов обработки	84
67	Определение нормы времени	85
68	Предпроектные исследования	86
69	Техническое задание	87
70	Эскизный проект.....	87
71	Технический проект	88
72	Разработка рабочей документации	88
73	Принципы разработки САПР	89
74	Понятие о процессе сборки изделия.....	90
75	Формализация задач проектирования ТП сборки	92
76	Состав и функции информационных технологий	94
77	Обзор современных PDM-систем	95
78	Эффективность применения и дополнительные возможности использования PDM-систем	97
79	Подходы, применяемые при синтезе маршрута с использованием PDM-системы	97
80	Автоматизация поиска нормативно-справочной информации на базе PDM-системы....	98
81	Использование таблиц решений при создании САПР ТП	99
82	Создание единого информационного пространства и модели проблемной среды при внедрении САПР ТП	100
83	Назначение средств технологического оснащения при помощи PDM-системы	101
84	Жизненный цикл технологического документа при использовании PDM-системы.....	101
85	Основные принципы маршрутизации деловых процессов	102
86	Параллельная маршрутизация делового процесса	103
87	Системы CADMECH, Search и TechCARD.....	104
88	Системы Компас, Вертикаль и Лоцман: PLM	107
89	Системы T-Flex: CAD, Технология и DOCs	108
90	Сравнительный анализ систем автоматизированного проектирования технологических процессов.....	110
91	Перспективы развития автоматизации проектирования технологических процессов..	111

1 Определение понятия САПР

Прежде всего, дадим определение понятию «*проектирование*». В общем случае, под *проектированием* понимается процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще не существующего объекта, на основе первичного описания данного объекта и (или) алгоритма его функционирования. Проектирование является сложным творческим процессом целенаправленной деятельности человека, основанным на глубоких научных знаниях, использовании практического опыта и навыков в определенной сфере. От качества и сроков выполнения проектирования во многом зависит конкурентоспособность выпускаемой продукции. Этим обстоятельством объясняется постоянно расширяющееся использование систем автоматизированного проектирования.

Под *системой автоматизированного проектирования (САПР)* понимается комплекс средств автоматизации проектирования, взаимосвязанных с необходимыми подразделениями проектной организации или коллективом специалистов (пользователем системы), выполняющей автоматизированное проектирование. САПР классифицируются по нескольким признакам, наиболее важным из которых является тип объекта проектирования. Как видно из названия в САПР ТП объектом проектирования является технологический процесс.

2 Понятие о технологическом процессе

Согласно стандарту ЕСТД «Термины и определения основных понятий» *технологический процесс (ТП)* – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда (заготовки) и получению изделия с заданными свойствами. Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, формообразования и сборки. Частным случаем технологического процесса является *технологический процесс механической обработки*, под которым понимают часть производственного процесса, включающую в себя последовательные действия по преобразованию исходной заготовки в готовую деталь путем изменения формы, размеров, состояния поверхностей обработкой металлообрабатывающими инструментами. *Цель проектирования технологического процесса (цель разработки его описания)* – получение для инженерно-технического персонала и рабочих производственных подразделений (цехов, участков) достаточно подробного описания технологических приемов изготовления изделия, с указанием порядка их выполнения и расчетными значениями норм расхода материалов,

времени, режимов обработки. Прокомментируем приведенные формулировки.

Виду того, что технологический процесс это часть производственного процесса, необходимо отметить, что *производственный процесс* представляет собой совокупность действий людей и орудий производства, необходимых для изготовления изделия. В производственный процесс входят не только процессы, непосредственно связанные с изменением формы и свойств обрабатываемых деталей, сборка сборочных единиц и изделий, но и все необходимые вспомогательные процессы: складирование, упаковка, отгрузка изделий; ремонт и модернизация оборудования; изготовление инструмента и средств механизации; контроль на всех этапах. При выполнении технологического процесса происходит изменение состояния предмета труда (заготовки), приводящее к получению изделия. При этом к «предметам труда» в равной степени относятся заготовки, детали и изделия.

3 Детализация цели проектирования технологического процесса и хранение его результатов

Целью проектирования технологического процесса является разработка его описания. В свою очередь, согласно стандарту ЕСТД «Термины и определения основных понятий», *описание технологического процесса* – это представленное на некотором языке изложение способа изготовления изделия. Оно состоит из упорядоченного набора описаний технологических приемов, включающего в себя сведения о типах и режимах работы, используемых средствах технологического оснащения, технологических инструкциях, нормах времени и нормах расхода материалов.

Описание технологического процесса содержится в технологических документах, объединенных в комплект. Состав комплекта зависит от степени детализации описания, регламентированной нормативными документами, и определяется типом производства. Чем тип производства ближе к крупносерийному и массовому, тем подробнее описание и тем большее количество документов входит в комплект.

Комплект документов технологического процесса (операции), согласно стандарту ЕСТД «Термины и определения основных понятий», представляет собой совокупность технологических документов, необходимых и достаточных для выполнения технологического процесса (операции).

Комплект технологической документации – это совокупность комплектов документов технологических процессов и отдельных

документов, необходимых и достаточных для выполнения технологических процессов при изготовлении и ремонте изделия или его составных частей.

В зависимости от назначения технологические документы подразделяют на основные и вспомогательные.

К *основным* относят документы:

- содержащие сводную информацию, необходимую для решения одной или комплекса инженерно-технических, планово-экономических и организационных задач;
- полностью и однозначно определяющие технологический процесс (операцию) изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия).

К *вспомогательным* относят документы, применяемые при разработке, внедрении и функционировании технологических процессов и операций, например карту заказа на проектирование технологической оснастки, акт внедрения технологического процесса и др.

Основные технологические документы, согласно стандарту ЕСТД «Стадии разработки и виды документов», подразделяют на документы общего и специального назначения.

К *документам общего назначения* относят технологические документы, применяемые в отдельности или в комплектах документов на технологические процессы (операции), независимо от применяемых технологических методов изготовления или ремонта изделий (составных частей изделий), например карту эскизов, технологическую инструкцию.

К *документам специального назначения* относят документы, применяемые при описании технологических процессов и операций в зависимости от типа и вида производства и применяемых технологических методов изготовления или ремонта изделий (составных частей изделий).

Результирующие данные. В качестве основной выходной (результирующей) информации могут выступать:

- маршрутная карта (МК);
- операционные карты (ОК);
- карты эскизов (КЭ);
- ведомость оснастки (ВО);
- управляющие программы для станков с ЧПУ.

Будем условно различать *три типа задач*:

- проектирование маршрутной технологии;
- проектирование маршрутно-операционной технологии;

- проектирование маршрутно-операционной технологии и разработка управляющих программ.

Для задачи первого типа основным результатом является маршрутная карта. Для задачи второго типа комплект технологических документов зависит от сложности детали, для которой разрабатывается технологический процесс и степени детализации описания технологического процесса. Для третьего типа задач комплект технологических документов дополняется картами с управляющими программами.

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

Использование электронного архива позволяет:

- организовать быстрый и авторизованный доступ к нужной информации;
- распараллеливать процесс технологической подготовки производства и, тем самым, сокращать сроки подготовки производства;
- организовать на базе TDM/EDM-систем ведение проекта изделия;
- организовать на базе PDM-систем эффективный контроль процесса технологической подготовки производства.

После того, как технологический процесс 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 *редактирование технологического процесса* будем подразумевать лишь изменение отдельных параметров при сохранении структуры процесса. Например, изменение параметров заготовки, номера цеха или модели оборудования.

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

В зависимости от принятой на предприятии технической политики могут быть использованы *три стратегии* ведения технологического электронного архива:

- хранить в проекте изделия, помимо файлов с конструкторской информацией, только файлы с комплексом технологических документов;
- хранить в проекте изделия не только файлы с комплексом технологических документов, но и файлы с параметрической моделью процесса (ПМП);

хранить в проекте изделия только файлы с параметрическими моделями технологических процессов.

4 Состав технической подготовки производства

Подготовка производства способствует непрерывному техническому прогрессу, выпуску высокоэффективной новой техники, созданию условий для эффективной работы предприятия. Техническая подготовка производства состоит из следующих трех частей:

- Конструкторская подготовка;
- Организационная подготовка;
- Технологическая подготовка.

Конструкторская подготовка производства – это совокупность работ по проектированию новой или совершенствованию выпускаемой продукции.

Организационная подготовка производства предусматривает комплекс мер по планированию и организации производства новой продукции, а также обеспечению процесса ее изготовления всеми необходимыми ресурсами.

Технологическая подготовка производства (ТПП) согласно стандарту ТПП «Термины и определения основных понятий» представляет собой совокупность мероприятий, обеспечивающих *технологическую готовность производства*. При этом под *технологической готовностью производства* понимается наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями.

5 Состав функций и задач ТПП

Под *функцией технологической подготовки производства* понимают комплекс задач по технологической подготовке производства объединенных общей целью их решения. Соответственно, *задачей технологической подготовки производства* является законченная часть работ в составе определенной функции технологической подготовки производства.

Оптимальное распределение функций и задач ТПП регламентировано *Единой системой технологической подготовки производства (ЕСТПП)*, под которой понимается комплекс установленных государственными стандартами правил и положений по организации и ведению технологической подготовки производства на базе широкого применения современных методов организации производства, унифицированных технологических процессов, средств вычислительной техники и стандартных средств технологического оснащения.

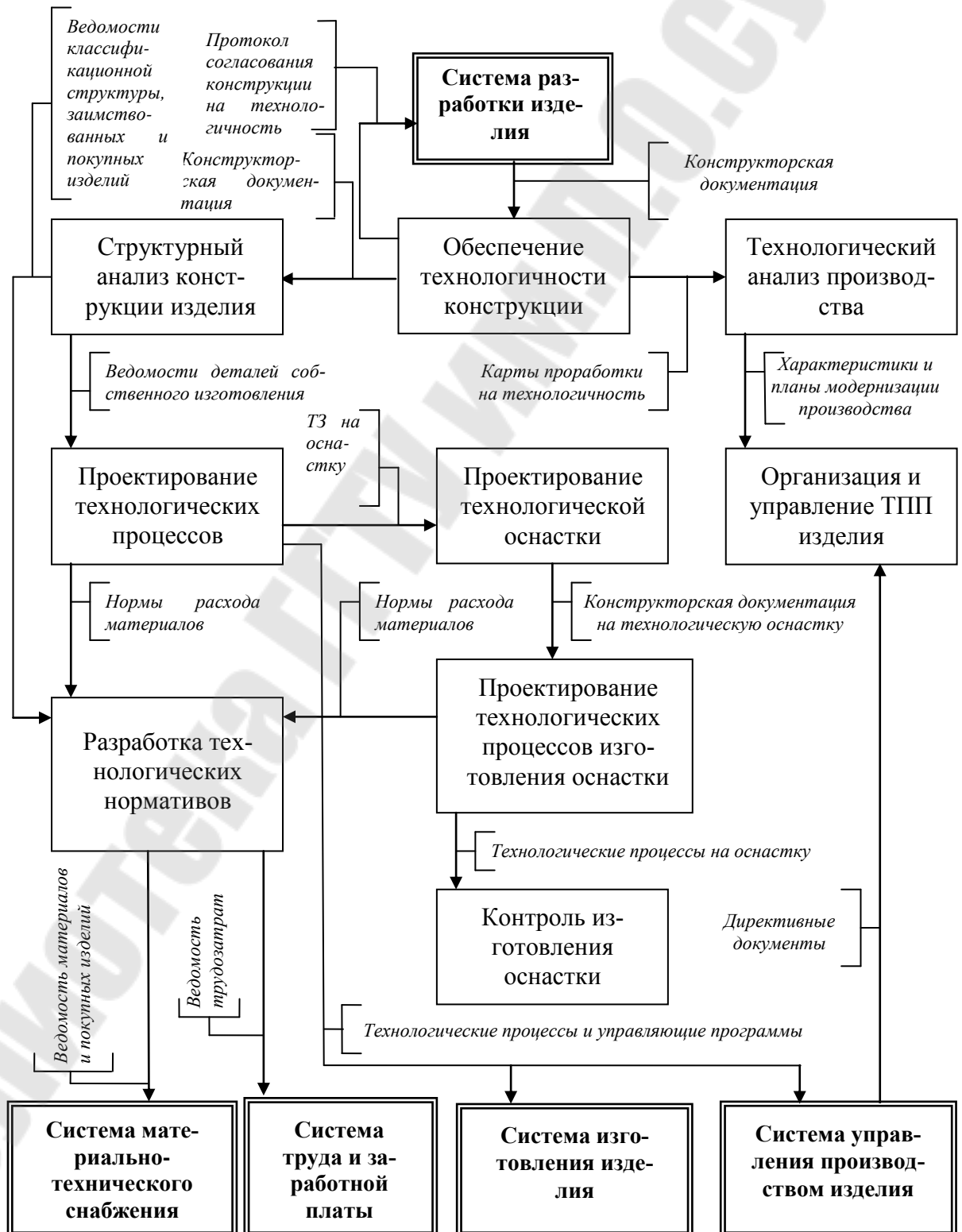
В работе Петухова А.В. «Исследование функциональной структуры системы технологической подготовки производства опытных образцов» приведены выявленные в результате структуризации видов деятельности следующие функции и задачи системы ТПП:

- Обеспечение технологичности изделия:
 - Разработка:
 - карты проработки изделия на технологичность;
 - протокола согласования конструкции на технологичность;
- Технологический анализ производства:
 - Разработка:
 - ведомости производственной характеристики;
 - планировки размещения оборудования;
 - Расчет производственной мощности;
 - Разработка плана модернизации производства;
- Структурный анализ изделия:
 - Разработка ведомостей:
 - классификационной структуры конструкции и состава изделия;
 - заимствованных деталей и сборочных единиц;
 - деталей и сборочных единиц собственного изготовления;
 - покупных изделий;
- Организация и управление ТПП:
 - Разработка:
 - ведомости работ по функциям ТПП;
 - графика выполнения функций ТПП;
- Проектирование технологических процессов:
 - Разработка:
 - комплектов технологической документации
 - управляющих программ и документации на операции, выполняемые на оборудовании с ЧПУ
 - заданий на проектирование средств технологической оснастки
 - норм расхода материалов для деталей собственного изготовления
- Разработка технологических нормативов:
 - Разработка ведомостей:

- потребности в заимствованных и покупных изделиях
 - потребности в средствах технологического оснащения
 - сводных норм расхода материалов
 - трудозатрат по профессиям и разрядам
- Проектирование технологической оснастки и технологических процессов ее изготовления:
- Разработка:
 - конструкций средств технологической оснастки
 - технологических процессов изготовления технологической оснастки
 - норм расхода материалов на технологическую оснастку
 - ведомости трудозатрат по профессиям и разрядам на изготовление технологической оснастки.

6 Блок схема функций ТПП

Внешние и внутренние связи в соответствии с работой Петухова А.В. «Исследование функциональной структуры системы технологической подготовки производства опытных образцов» могут быть представлены в виде следующей блок-схемы.



7 Описание внешних связей ТПП

Внешние связи системы ТПП организуются следующим образом.

По первому каналу связи система управления производством оказывает управляющее воздействие на систему ТПП, которое поступает в виде директивных документов с оперативно-управленческой информацией. На ее основании реализуется функция организации и управления ТПП, вырабатывается график последовательности их выполнения. В обратном направлении, т.е. из системы ТПП в систему управления производством, поступает информация о структуре технологических процессов, в виде маршрутных и операционных описаний.

Второй канал – связь с системой разработки конструкций изделий. По нему информация в виде конструкторской документации поступает в систему ТПП. В результате выполнения функции обеспечения технологичности в системе ТПП вырабатывается информация в виде протокола согласования конструкции на технологичность, который возвращается в систему разработки конструкции и служит основанием для доработки конструкции и карты проработки изделия на технологичность, используемой при выполнении функции технологического анализа производства.

Третий канал – связь с системой материально-технического снабжения – построен на базе трех направлений. По первому ведомости норм расхода материалов и покупных изделий поступают из системы ТПП после выполнения функции разработки технологических нормативов в систему материально-технического снабжения. По второму направлению информация о нормах расхода материалов, комплектующих и покупных изделий для изготовления средств технологического оснащения, поступает из системы ТПП после выполнения функции проектирования технологических процессов изготовления средств технологического оснащения в систему материально-технического снабжения. По третьему направлению материалы, комплектующие и покупные изделия, необходимые для изготовления изделия и средств технологического оснащения поступают из системы материально-технического снабжения в системы изготовления изделия и средств технологической оснастки.

Четвертый канал – связь с системой труда и заработной платы. По этому каналу информация о трудозатратах на изготовление изделий, в виде ведомости с указанием профессий и разрядов поступает из системы ТПП после выполнения функции разработки технологических нормативов в систему труда и заработной платы.

Пятый канал – связь с системой изготовления. По нему из системы ТПП передается информация о структуре технологических процессов в виде комплекта технологической документации и программ для оборудования с ЧПУ, а также средства технологического оснащения.

8 Описание внутренних связей ТПП

Рассмотрение внутренних связей и функции системы ТПП, описанное в работе Петухова А.В. «Исследование функциональной структуры системы технологической подготовки производства опытных образцов» позволило определить следующее.

Функция обеспечения технологичности конструкций выполняется на основании анализа документации, поступающей из системы разработки конструкций. При ее реализации осуществляется взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат. Результатами этой работы являются протокол согласования и карта технико-экономической проработки изделия на технологичность. Протокол отражает взаимодействие по каналу связи между системой ТПП и системой разработки конструкций. Карта технико-экономической проработки используется при технологическом анализе производства с целью его совершенствования.

Получаемая в результате выполнения *функции технологического анализа производства* информация в виде ведомости производственной характеристики цеха (завода), планировки размещения оборудования и результатов расчета производственной мощности используется при выполнении функции организации и управления ТПП при планировании модернизации производственной структуры.

Функция структурного анализа изделия выполняется на основании информации, поступающей в виде конструкторской документации, проанализированной на технологичность. На этом этапе классифицируются структурные составляющие конструкции изделия. В результате выполнения функции в системе ТПП генерируется информация о структурных составляющих конструкций и входящих в них покупных изделиях в виде следующих ведомостей: классификационной структуры изделия; его состава; заимствованных деталей и сборочных единиц; покупных изделий; деталей собственного изготовления. Эта информация используется при выполнении функций разработки технологических нормативов и технологических процессов, а также функции организации и управления ТПП.

Функция организации и управления ТПП выполняется на основании информации, поступающей из системы управления производством. При этом генерируются управляющие воздействия в виде графика выполнения функций и ведомости объемов работ по каждой функции.

Функция проектирования технологических процессов выполняется на основании информации, поступающей после выполнения функций структурного анализа изделий, технологического анализа производства, а также организации и управления ТПП. В результате выполнения функции генерируется информация о технологических процессах. Помимо этого, при выполнении функции проектирования технологических процессов генерируется информация об обработке деталей на оборудовании с ЧПУ в виде управляющих программ и технологической документации, а также технические задания для выполнения функции проектирования средств технологического оснащения.

Функция разработки технологических нормативов выполняется на основании информации, поступающей после выполнения функций проектирования технологических процессов, структурного анализа изделия, проектирования технологических процессов изготовления технологической оснастки, а также функции организации и управления ТПП. При выполнении функции разработки технологических нормативов информация генерируется в виде ведомостей: потребности в заимствованных и покупных изделиях, потребности в средствах технологического оснащения, сводных норм расхода материалов и трудозатрат по профессиям и разрядам. Эта информация передается из системы разработки технологических нормативов в систему управления производством и систему труда и заработной платы.

Функция проектирования средств технологического оснащения (СТО) выполняется на основании информации о технических требованиях, предъявляемых к этим средствам в технических заданиях на проектирование. При выполнении данной функции генерируется информация о конструкции СТО в виде конструкторской документации.

Функция проектирования технологических процессов изготовления СТО выполняется на основании информации о конструкции технологической оснастки, получаемой в результате выполнения функции проектирования СТО и функции управления и организации ТПП. При выполнении данной функции генерируется информация о технологии изготовления СТО в виде маршрутных карт, нормах расхода материалов, а также информация о трудозатратах по профессиям и разрядам при изготовлении СТО.

Функция контроля изготовления СТО выполняется на основании информации о технологии изготовления и графика работ по ТПП. При выполнении функции осуществляется контроль изготовления СТО на участке подготовки производства или на специализированном предприятии.

9 Средства автоматизации функций и задач ТПП

Автоматизировать ТПП – значит в комплексе автоматизировать выполнение ее функций и задач. По своим свойствам функции и задачи неоднородны и автоматизируются с использованием различных методов и средств.

К средствам автоматизации относятся:

- ИПС – информационно-поисковые системы;
- АССА – автоматизированная система структурного анализа;
- САПР ТП – система автоматизированного проектирования ТП;
- САПР СТО – система автоматизированного проектирования конструкций СТО;
- САП – система автоматизированного программирования управляющих программ для программно-управляемого оборудования;
- АСУ ТПП – автоматизированная система управления ТПП.



Все эти системы входят в состав САПР при ТПП и являются ее подсистемами.

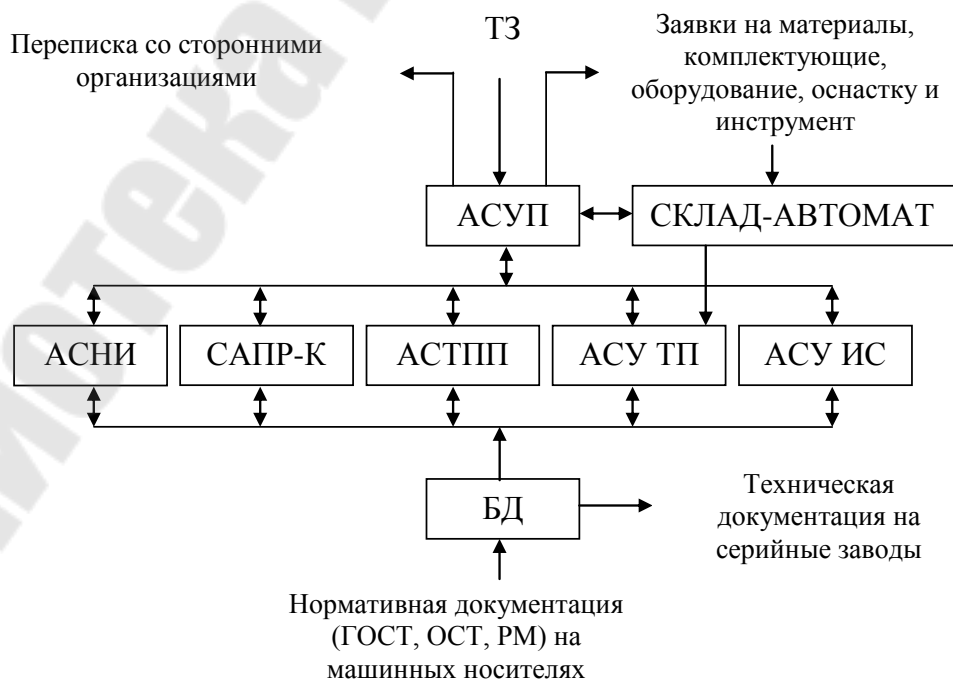
Исследования показывают, что затраты времени (трудоемкость), приходящиеся на ТПП для различных типов производства составляют для серийного производства – 40-50% и 60-70% – для крупносерийного. Из этого можно заключить, что ТПП является основной частью технической подготовки производства.

10 Место САПР ТПП в системе комплексной автоматизации процессов проектирования и производства

Одним из направлений повышения конкурентоспособности отечественных предприятий является переход от отдельных замкнутых САПР и их частичного объединения к *полной интеграции* технической и организационной сфер производства. Такая интеграция связывается с разработкой системы комплексной автоматизации процессов проектирования, изготовления и испытания изделий, для которой характерны:

- переход к крупномасштабным автоматизированным системам конструкторско-исследовательским отделам, автоматизированным участкам и испытательным стендам,
- постепенная интеграция системы проектирования и изготовления в целостные научно-производственные комплексы.

Структурная схема системы комплексной автоматизации процессов проектирования, изготовления и испытания изделий представлена на рисунке.



Анализ структурной схемы однозначно определяет соответствие между автоматизированными системами и подразделениями-пользователями. Например, управленческие подразделения являются пользователями автоматизированной системы управления предприятием (АСУП), конструкторско-исследовательские подразделения – автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) и системы автоматизированного проектирования конструкции изделия (САПР-К), технологические подразделения – системы автоматизированного проектирования в ТПП (САПР в ТПП); производственные подразделения – автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), испытательные подразделения – автоматизированной системы испытаний (АСУ ИС); подразделения стандартизации и технической документации – информационной поисковой системы, работающей с базой данных (БД).

11 Стадии жизненного цикла изделия

В международных стандартах серии ISO 9004 (управление качеством продукции) введено понятие «Жизненный Цикл Изделия» (ЖЦИ). Данное понятие включает в себя следующие этапы:

- Маркетинг (поиск и изучение рынка);
- Формулирование служебного назначения;
- Разработка концепции и технического задания (разработка технических требований к создаваемой продукции);
- Конструирование (проектирование и/или разработка конструкции создаваемой продукции);
- Технологическая подготовка производства (подготовка и разработка технологических процессов);
- Производство (изготовление изделия, контроль, проведение испытаний и обследований, упаковка и хранение, реализация и/или распределение продукции);
- Доставка изделий потребителю (монтаж);
- Эксплуатация (техническая помощь в обслуживании);
- Утилизация после завершения использования продукции.

Определение элементов ЖЦИ, рассматриваемого как «система», является основным этапом не только для концептуального проектирования, но и для создания единой информационной модели.

Функционально-структурное моделирование ЖЦИ при создании виртуального предприятия на концептуальном уровне позволяет определить не только связи между элементами (понятиями) ЖЦИ, но также их структуру. Классификация связей между элементами

(понятиями) ЖЦИ в составе виртуального предприятия предполагает наличие следующих связей:

- связи между средствами производства;
- связи людей со средствами производства и между собой в процессе производства;
- связи между управляющей и управляемой системами.

Использование понятий ЖЦИ при реорганизации предпринимательской деятельности позволяет:

во-первых, провести системно-организационную интерпретацию элементов (понятий) ЖЦИ и связей между ними в процессах проектирования, изучения и анализа ЖЦИ при проектировании виртуального предприятия;

во-вторых, переместить акцент от решения отдельных локальных задач на процесс проектирования, изучения и анализа предпринимательской деятельности.

12 Понятия, относящиеся к САПР, принятые в зарубежной литературе

В зависимости от объекта проектирования САПР принято делить, по крайней мере, на два основных вида:

- САПР изделий;
- САПР технологических процессов.

Ввиду того, что в зарубежной литературе сложилась своя терминология в области автоматизированного проектирования, и она часто используется в публикациях, рассмотрим некоторые, принятые в ней термины.

САПР изделий. В зарубежной литературе эти системы называют *CAD* (Computer-Aided Design). Здесь Computer – компьютер, Aided – с помощью, Design – проект, проектировать. Таким образом, термин «*CAD*» можно перевести как «проектирование с помощью компьютера». Эти системы выполняют объемное и плоское геометрическое моделирование, инженерные расчеты и анализ, оценку проектных решений, изготовление чертежей. В более строгой формулировке *CAD* – программный пакет, предназначенный для проектирования (разработки) объектов производства (или строительства), а также оформления конструкторской и/или технологической документации. Современные САПР используются совместно с системами автоматизации инженерных расчетов и анализа *CAE*, либо внутри себя содержат интегрированные средства автоматизации инженерных расчетов и анализа. Данные из *CAD*-системы передаются в *CAM*-систему автоматизированной разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ или ГАПС (Гибких автоматизированных

производственных систем). Работа с САПР обычно подразумевает создание геометрической модели изделия (двумерной или трехмерной, твердотельной), генерацию на основе этой модели конструкторской документации (чертежей изделия, спецификаций и проч.) и последующее его сопровождение. Следует отметить, что русский термин «САПР» по отношению к промышленным системам имеет более широкое толкование, чем *CAD* – он включает в себя *CAD*, *CAM* и *CAE*.

САПР технологии изготовления. В странах бывшего Советского Союза эти системы принято называть САПР ТП или АС ТПП. В зарубежной литературе их называют *CAPP* (Computer Automated Process Planning). Здесь *Automated* – автоматический, *Process* – процесс, *Planning* – планировать, планирование, составление плана. С помощью этих систем разрабатывают технологические процессы и оформляют их в виде маршрутных, операционных, маршрутно-операционных карт, проектируют технологическую оснастку, разрабатывают управляющие программы (УП) для станков с ЧПУ.

Более конкретное описание технологии обработки на оборудовании с ЧПУ (в виде кадров управляющей программы) генерируется *автоматизированной системой управления производственным оборудованием (АСУПП)*, которую в зарубежной литературе 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. В некоторых источниках под термином «*CAM*» понимают подготовку технологического процесса производства изделий, ориентированную на использование средств вычислительной техники, и включающую не только сам процесс компьютеризированной подготовки производства, но и программно-вычислительные комплексы, используемые технологами-проектировщиками. Фактически же технологическая подготовка сводится к автоматизации разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ (2- осевые лазерные станки), (3- и 5-осевые фрезерные станки с ЧПУ; токарные станки; обрабатывающие центры; автоматы продольного точения и токарно-фрезерной обработки). Как правило, большинство программно-вычислительных комплексов совмещают в себе решение задач *CAD/CAM*, *CAE/CAM*, *CAD/CAE/CAM*.

Научно-исследовательский этап проектирования иногда выделяют в самостоятельную *автоматизированную систему научных исследований (АСНИ)* или, используя зарубежную терминологию, автоматизированную систему инжиниринга – *CAE* (*Computer Aided Engineering*). Одним из примеров такой системы является так

называемая «изобретающая машина», которая поддерживает процесс принятия проектировщиком новых нестандартных решений, иногда и на уровне изобретений. В более узком понимании «CAE» – общее название для программ или программных пакетов, предназначенных для инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов. Расчетная часть пакетов чаще всего основана на численных методах решения дифференциальных уравнений (метод конечных элементов, метод конечных объемов, метод конечных разностей и др.). Современные системы автоматизации инженерных расчетов (CAE) применяются совместно с CAD-системами (зачастую интегрируются в них, в этом случае получаются гибридные CAD/CAE-системы). CAE-системы – это разнообразные программные продукты, позволяющие оценить, как поведёт себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. Они позволяют проверить работоспособность изделия, без привлечения больших затрат времени и средств.

Помимо этого различают: *систему производственного планирования и управления PPS* (Productions plans system), что соответствует отечественному термину АСУП (*автоматизированная система управления производством*).

CAQ (Computer Aided Quality Control) – автоматизированная система управления качеством.

PDM (Product Data Management) – автоматизированная система управления производственной информацией. Аналог системы электронного документооборота.

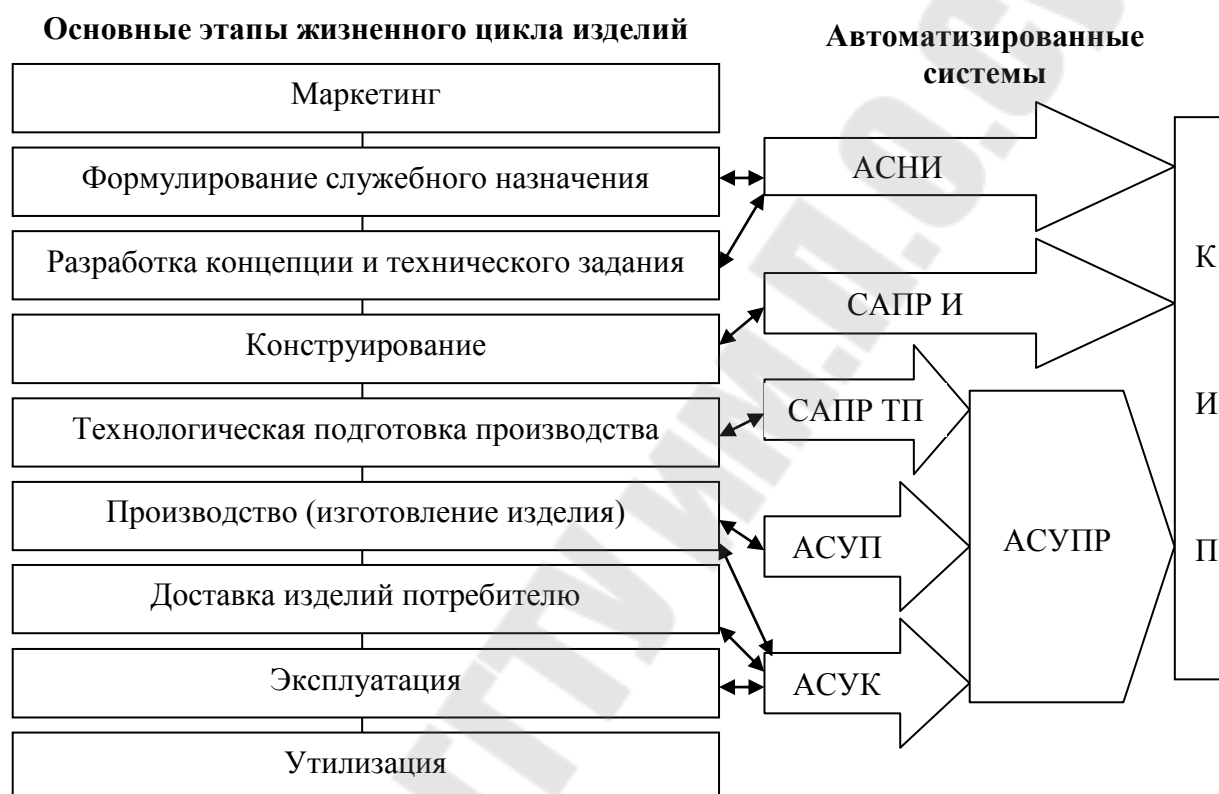
CAD/CAM/CAE/PDM – комплексная система автоматизированного проектирования и производства.

CIM (Computer Integrated Manufacturing) – система интегрированного производства.

13 Связи этапов жизненного цикла изделий и автоматизированных систем

Необходимо отметить, что самостоятельное использование систем CAD- и CAM-систем дает экономический эффект. Но он может быть существенно увеличен их интеграцией посредством CAPP. *Интегрированная система CAD/CAM* на информационном уровне поддерживается единой базой данных. В ней хранится информация о структуре и геометрии изделия (как результат проектирования в системе CAD), о технологии изготовления (как результат работы системы CAPP) и управляющие программы для оборудования с ЧПУ (как исходная информация для обработки в системе CAM на оборудовании с ЧПУ).

Этапы создания изделий могут перекрываться во времени, т.е. частично или полностью выполняться параллельно. На рисунке показаны связи этапов жизненного цикла изделий и автоматизированных систем, входящих в состав комплексного интегрированного производства (КИП) или в зарубежной версии *СІМ* (*Computer Integrated Manufacturing*).



В структуре комплексного интегрированного производства выделяются три основных иерархических уровня:

1 *Верхний уровень (уровень планирования)*, включающий в себя подсистемы, выполняющие задачи планирования производства.

2 *Средний уровень (уровень проектирования)*, включающий в себя подсистемы проектирования изделий, технологических процессов, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ.

3 *Нижний уровень (уровень управления)* включает в себя подсистемы управления производственным оборудованием.

Построение комплексного интегрированного производства включает в себя решение следующих проблем:

- *информационного обеспечения* (отход от принципа централизации и переход к координированной децентрализации на каждом из рассмотренных уровней как путем сбора и накопления информации внутри отдельных подсистем, так и в центральной базе данных);

- *обработки информации* (стыковка и адаптация программного обеспечения различных подсистем);
- *физической связи подсистем* (создание интерфейсов, т.е. стыковка аппаратных средств ЭВМ, включая использование вычислительных систем).

Внедрение комплексного интегрированного производства 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).

14 Необходимость автоматизации проектирования технологических процессов

Трудоемкость и стоимость ТПП растет из года в год. Это вызвано следующими причинами:

- Изделия машиностроения становятся сложнее. Они насыщаются электроникой, в их конструкции используются новые материалы, требуется более высокая точность изготовления деталей и сборочных единиц. Такое усложнение приводит к увеличению трудоемкости проектирования технологических процессов.
- В промышленности сейчас широко используется оборудование с ЧПУ. Для него необходима разработка операционной технологии и составление управляющих программ, что также приводит к увеличению трудоемкости проектирования технологических процессов.

В настоящее время необходимо проектировать качественные технологические процессы, т.е. изделия, изготовленные по этим процессам, должны отвечать требованиям конструктора и иметь минимальную стоимость, следовательно, нужно проектировать оптимальные технологические процессы. От этого во многом зависит прибыль машиностроительного предприятия.

15 Возможность автоматизации проектирования технологических процессов

При проектировании технологических процессов у технолога имеются следующие сферы деятельности:

Оформление технологической документации (маршрутные, операционные карты и другие документы). Это не творческая работа и может быть полностью автоматизирована.

Поиск информации (поиск инструментов, приспособлений, оборудования, заготовок, припусков, нормативов по режимам резания и нормам времени и т. д.). Эта процедура автоматизируется на основе использования информационно-поисковой системы (ИПС). При использовании ИПС условие поиска технолог вводит в режиме диалога. Условия поиска, которые являются стабильными, можно хранить в базе знаний.

Стандартные расчеты (расчет припусков, операционных заготовок, режимов резания и т. п.). Такие расчеты можно полностью автоматизировать.

Принятие сложных логических решений (выбор структуры процесса и операций, выбор баз и т. д.). Процесс принятия таких решений полностью автоматизировать не удается.

Современная концепция применения информационных технологий при проектировании технологических процессов обработки деталей и сборки изделий основывается на создании человеко-машинных систем, в которых общение технолога с компьютером происходит в режиме диалога.

Такие системы получили название «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» или сокращенно САПР ТП. Использование ЭВМ требует повышения квалификации технолога по нескольким направлениям.

Во-первых, пользователь САПР ТП должен быть технологом высокой квалификации, т. к. система сама выполняет рутинные работы по поиску нужной информации, стандартным расчетам и оформлению технологической документации. Технолог должен решать творческие задачи, связанные с принятием сложных логических решений, которые не может выполнить система.

Во-вторых, технолог должен знать язык общения с САПР ТП и уметь ее эксплуатировать.

В-третьих, у технолога появляется новая функция сопровождения САПР ТП. Эта функция заключается:

- в корректировке баз данных (знаний) и в пополнении их новой информацией;
- в нахождении и устранении алгоритмических ошибок;
- в разработке алгоритмов для дальнейшего совершенствования САПР ТП.

16 История создания систем

Рассматривая историю автоматизации ТПП можно выделить следующие этапы.

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

Второй этап (1970–1980 гг.) характеризуется тем, что 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 (г. Минск), НИАТ (г. Москва), ЛИТМО (г. Ленинград), ЦНИТИ (г. Москва), МАИ (г. Москва), МВТУ (г. Москва) и ряда 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 средств технологического оснащения (САПР СТО).

Обобщение накопленного положительного опыта позволило НИИМаш создать комплекс стандартов для Единой Системы Технологической Подготовки Производства (ЕСТПП) и Единой Системы Технологической Документации (ЕСТД). Эти стандарты закрепили достижения СССР в области автоматизации ТПП и подготовили промышленные предприятия к переходу на широкое использование ЭВМ в ТПП.

Эти годы отличаются большим количеством работ по проектированию локальных систем АСТПП: системы проектирования технологии обработки на станках токарной группы, холодной штамповкой, на сверлильных и фрезерных станках. Для разработанных систем характерны высокая сложность алгоритмов и программ, большой объем нормативно-справочной информации, которую необходимо хранить в памяти ЭВМ. Электронно-вычислительные машины единой серии (ЕС ЭВМ) – это сложный вычислительный комплекс, который устанавливался в вычислительном центре. Часто ВЦ на предприятии располагался достаточно далеко от технологических служб. Решение задач на ЕС ЭВМ обычно выполнялось в пакетном режиме, при этом быстродействие при решении технологических задач было не на столько высоким, чтобы компенсировать стоимость использования ЕС ЭВМ. Полиграфическое качество документов,

выводимых на алфавитных цифровых печатающих устройствах, было недостаточным для их размножения. Из-за этих факторов существующие ЭВМ оказались малопригодными для решения технологических задач.

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

Во-первых, проведение массовых работ по проектированию и внедрению АСУП на предприятиях с различным характером производства требовало автоматизации решения отдельных задач технологического проектирования.

Во-вторых, проведение больших работ по стандартизации процедур и программ обработки информации и появление работ по формализации алгоритмов принятия решений в технологических задачах. Работы по автоматизации технологического проектирования характеризуются направленностью на условия предприятия, на котором планируется внедрение системы. В эти годы был осуществлен постепенный переход на ЭВМ серии малых машин, так называемых СМ ЭВМ, что позволило установить терминалы на рабочих местах конечных пользователей, организовать решение технологических задач в режиме диалога, отказавшись от ввода данных с помощью перфокарт и перфолент.

Четвертый этап (1990–2000 гг.) характеризуется работами по созданию комплексных систем АСТПП, основанных на использовании единой системы кодирования и единого математического обеспечения. Широкое распространение относительно недорогих персональных ЭВМ дало возможность поставить ПЭВМ на стол каждого технолога и установить на ней САПР ТП, соответствующую данному предприятию. Очередная смена поколения ЭВМ и переход на персональные ЭВМ потребовала серьезных вложений в создание новых систем.

В последние годы был создан ряд систем сквозного проектирования. Входящие в их состав современные САПР ТП обеспечивают пользователям двунаправленную, параметрическую взаимосвязь графических и технологических средств проектирования, что позволяет осуществить параллельную автоматизацию конструкторских и технологических подразделений предприятия. Совместное использование данных систем позволяет избежать двойного ввода информации. Конструктор создает чертежи изделия в САПР-К, затем эти чертежи поступают к технологу, который вносит недостающую технологическую информацию (сведения об элементах конструкции). Информация сохраняется в чертеже. Технологическая информация с чертежа автоматически считывается САПР ТП, с

помощью которой далее технолог проектирует требуемые технологические процессы изготовления изделия. При изменении геометрических размеров изделия на чертеже, обновленные технологические данные из него поступают в САПР ТП, которая в автоматическом режиме производит перепроектирование технологии.

17 Предпосылки для внедрения САПР ТП

Для внедрения САПР ТП на промышленном предприятии необходимы следующие предпосылки:

Наличие достаточно развитой *теории* автоматизированного проектирования. Основы теории разработаны группой ученых Объединенного института проблем информатики (ОИПИ) НАН Беларуси Г.К. Горанским, В.Д. Цветковым, В.И. Махначем, О.И. Семенковым, Н.А. Ярмошем, а также рядом Российских ученых С.П. Митрофановым (ЛИТМО), Б.Е. Челищевым (НИАТ), Н.М. Капустинным (МВТУ).

Наличие технических средств. В настоящее время компьютеры являются относительно недорогими средствами вычислительной техники и могут быть установлены на рабочем месте каждого технолога. Они должны объединяться в сеть для доступа пользователей к базам данных.

Наличие автоматизированных систем. В технологических службах промышленного предприятия должен быть установлен комплекс систем проектирования технологических процессов и средств технологического оснащения. Внедряемые системы должны полностью отвечать специфике предприятия и обладать необходимыми функциональными возможностями. Разработка и внедрение систем для учета специфики производства должны выполняться с участием специалистов этого предприятия. Системы должны иметь эффективные механизмы настройки (адаптации) на условия предприятия. В частности, необходимо иметь удобные средства сопровождения баз данных и знаний. На ранних стадиях развития САПР ТП настройка систем на условия предприятия была очень трудоемкой, что часто приводило к их отторжению от технологической подготовки. Системы разрабатывались в разных организациях, вместе эти системы не стыковались, что затрудняло их совместную эксплуатацию и сопровождение. Внедряемые системы должны быть достаточно гибкими для того, чтобы их можно было легко адаптировать к изменившимся условиям и функционально развивать в соответствии с потребностями предприятия.

Моральная и организационная готовность к использованию САПР ТП. Руководство и сотрудники технологических служб должны

понимать необходимость применения информационных технологий для ТПП и чувствовать экономическую эффективность от автоматизации технологического проектирования. Должны быть разработаны документы, фиксирующие функции подразделений, участвующих в процессе эксплуатации и сопровождения автоматизированных подсистем ТПП. На предприятии должны существовать службы технического обслуживания средств вычислительной техники и сопровождения автоматизированных подсистем ТПП.

18 Классификация систем автоматизированного проектирования

Системы автоматизированного проектирования разрабатываются в различных проектных, конструкторских и технологических организациях, в соответствующих подразделениях предприятий и объединений отраслей машиностроения, приборостроения и строительства. В целях создания условий для типизации, унификации и стандартизации различных видов САПР, а также повышения эффективности их функционирования разработана классификация САПР. Наиболее важными признаками классификации САПР являются: тип объекта проектирования; комплексность автоматизации проектирования; количество уровней в структуре технического обеспечения.

Тип объекта проектирования определяет следующие виды САПР:

- 1) САПР изделий машиностроения и приборостроения (проектируют изделия машиностроения и приборостроения);
- 2) САПР технологических процессов в машиностроении и приборостроении (проектируют технологические процессы в машиностроении и приборостроении);
- 3) САПР объектов строительства;
- 4) САПР организационных систем.

Комплексность автоматизации проектирования обуславливает следующие модификации САПР:

- 1) одноэтапная САПР (выполняет один этап проектирования);
- 2) многоэтапная САПР (выполняет несколько этапов проектирования);
- 3) комплексная САПР (выполняет все этапы проектирования).

Под этапом проектирования понимается условно выделенная часть проектирования, в результате которой находят проектное решение, необходимое и достаточное для рассмотрения и принятия решения по продолжению проектирования.

Количество уровней в структуре технического обеспечения определяет следующие виды САПР:

Одноуровневая САПР – система, построенная на основе одного автоматизированного рабочего места (АРМ), реализованного на базе компьютера со штатным набором периферийных устройств, который в необходимых случаях может быть дополнен некоторыми средствами обработки графической информации.

Двухуровневая САПР – система, построенная на основе нескольких АРМов, объединенных в локальную вычислительную сеть (ЛВС).

Трехуровневая САПР – система, построенная на основе нескольких АРМов, объединенных в ЛВС и периферийного программно-управляемого оборудования (станки с ЧПУ, промышленные роботы и др.).

19 Виды обеспечения САПР ТП

Комплекс средств автоматизации проектирования современных САПР включает семь видов обеспечения: техническое, математическое, программное, информационное, лингвистическое, методическое, организационное.

Техническое обеспечение – совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств, предназначенных для выполнения автоматизированного проектирования. К этому виду обеспечения относятся различные технические средства: компьютеры, периферийное оборудование и устройства их связи (серверы, сетевые средства и т. д.). Системы автоматизированного проектирования технологических процессов достаточно сложные системы, для которых нужны мощные персональные машины с большим объемом памяти.

Математическое обеспечение – совокупность математических методов, математических моделей и алгоритмов проектирования, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования. Сюда входят математические модели объектов (технологических процессов, инструментов, приспособлений и др.), методы их проектирования, а также методы и алгоритмы выполнения различных инвариантных проектных операций и процедур, связанных с оптимизацией, поиском информации, автоматизированной графикой и др. Проще говоря, *математическое обеспечение* – это совокупность математических методов, моделей и алгоритмов, необходимых для выполнения проектирования.

Программное обеспечение – совокупность машинных программ, необходимых для решения задач САПР ТП и представленных в заданной форме. Это обеспечение включает комплексы программ специального и общего назначения.

Специальное программное обеспечение представляется в виде текстов прикладных программ, ориентированных на решение

специальных задач (решение задач динамики, прочности; проектирование маршрутных и операционных технологических процессов, техническое нормирование; проектирование стандартных деталей и оснастки и т. п.).

Общее программное обеспечение предназначено для управления вычислительным процессом в САПР. Эти функции обычно выполняют программы, входящие в состав операционных систем.

Программное обеспечение, как правило, взаимодействует с информационным обеспечением предметной области проектирования.

Информационное обеспечение – совокупность сведений, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования и представленных в заданной форме. Основную часть информационного обеспечения составляет база данных – информационные массивы, используемые более чем в одной программе проектирования.

Лингвистическое обеспечение – совокупность языков проектирования, включая, кроме того, термины и определения, правила формализации естественного языка, методы сжатия и развертывания текстов, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования и представленных в заданной форме.

Методическое обеспечение – совокупность документов, устанавливающих состав, а также правила отбора и эксплуатации средств обеспечения автоматизированного проектирования, необходимых для решения проектных задач.

Организационное обеспечение – совокупность документов, устанавливающих состав проектной организации и ее подразделений, связи между ними, их функции, а также форму представления результата проектирования и порядок рассмотрения проектных документов.

20 Технологическая унификация и процесс принятия решения в САПР ТП

Технологическая унификация – приведение к единой системе методов обработки.

Типовые решения являются основой автоматизированного проектирования ТП.

При проектировании ТП используются три уровня технологической унификации:

1) типизация маршрута обработки отдельных (элементарных) поверхностей, таких как наружный цилиндр, конус, сфера, отверстие или плоскость;

2) типизация маршрута обработки сочетаний поверхностей (шпоночного паза, зубьев);

3) комплексная типизация ТП обработки заготовок в целом.

Работа по типизации ТП на любом уровне должна начинаться с классификации деталей, сочетаний поверхностей и элементарных поверхностей. Основной задачей классификации является приведение всего многообразия заготовок, поверхностей, их сочетаний к минимальному числу типов, для которых можно разработать унифицированные ТП.

Типизация маршрутов обработки элементарных поверхностей. В машиностроении накоплен большой опыт разработки и использования типовых маршрутов обработки различных поверхностей. Многие из этих маршрутов зафиксированы в справочных материалах. Число возможных вариантов маршрута может быть довольно большим. Все они, однако, различны по эффективности. Выбор окончательного варианта по этим показателям важен, но сложен и трудоемок. Маршрут выбирают приближенно, оценивая трудоемкость вариантов по суммарному основному времени обработки и используя для расчета нормативные материалы. Более точно выбирают маршрут при сравнении суммарной себестоимости обработки.

Типизация маршрутов обработки сочетаний поверхностей. Под сочетанием понимают обычно набор элементарных поверхностей, образующих конструктивный элемент детали определенного функционального назначения (например, набор поверхностей, образующих шпоночный паз, шлицы). Такие наборы поверхностей называются конструкторско-технологическим элементом детали (КТЭ). Признаками классификации КТЭ на подгруппы, типы являются: функциональное назначение, конфигурация и размеры поверхностей, материал детали, требуемая точность.

Комплексная типизация ТП обработки заготовок. Эта типизация базируется на классификации деталей по конструктивно-технологическим признакам. Она включает в себя анализ и упорядочение отдельных деталей и сборочных единиц с целью объединения конструктивно и технологически сходных деталей в соответствующие классы, группы, типы. Под типом подразумевается совокупность близких по форме и размерам деталей одного класса, которые можно обработать по общему типовому ТП. В группу включаются детали с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Для их обработки используется одинаковое оборудование и оснащение при выполнении всех или отдельных операций.

Процесс принятия решения в САПР ТП обычно не является функциональным, так как при решении отдельных задач для заданных исходных данных на выходе может получиться несколько решений. В

этих случаях принятие решений можно выразить с помощью аппарата соответствий. Обобщенно каждое соответствие Γ можно выразить следующим образом:

$$\Gamma = \langle G, V, R \rangle,$$

где G – график соответствия;

V – множество входных элементов;

R – множество выходных элементов;

$V = \{v_i\}: i = 1, nv; nv$ – количество входных элементов;

$R = \{r_j\}: j = 1, nr; nr$ – количество выходных элементов;

$G = \{\langle v_i, r_j \rangle\}; G$ принадлежит $V \times R$.

На рисунке представлен пример графика соответствия, отражающий следующую зависимость $G = \{\langle v_1, r_1 \rangle, \langle v_1, r_2 \rangle, \langle v_2, r_1 \rangle, \langle v_2, r_4 \rangle, \langle v_3, r_3 \rangle\}$.

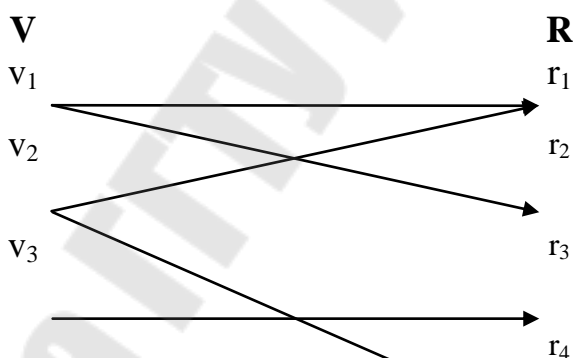


График соответствия может быть представлен двумя способами:

Процедурным – при котором алгоритм, отражающий график соответствия G , выражен с помощью операторов какого-либо языка программирования. Полученный программный модуль позволяет принимать решения в соответствии с заданным графиком. В САПР ТП различного рода соответствий может быть достаточно много и процедурное их представление приводит к большому объему программного обеспечения.

Достоинство процедурного представления графика соответствия: быстрая работа модуля, принимающего решение.

Недостаток процедурного представления графика соответствия: большой объем программного обеспечения.

Декларативным – при котором алгоритм, отражающий график соответствия G , выражен с помощью какого-либо непроцедурного языка. График соответствия может быть представлен в виде таблицы

решений, предикатной таблицы, информационной таблицы и т. д. Такая таблица и записывается в базу данных или знаний. Для работы с такого рода таблицами используется универсальный модуль интерпретирующего типа. Этот модуль вызывает заданную таблицу из базы, проводит анализ таблицы, на основании которого выполняет определенные действия по нахождению решения.

Достоинства декларативного представления графика соответствия:

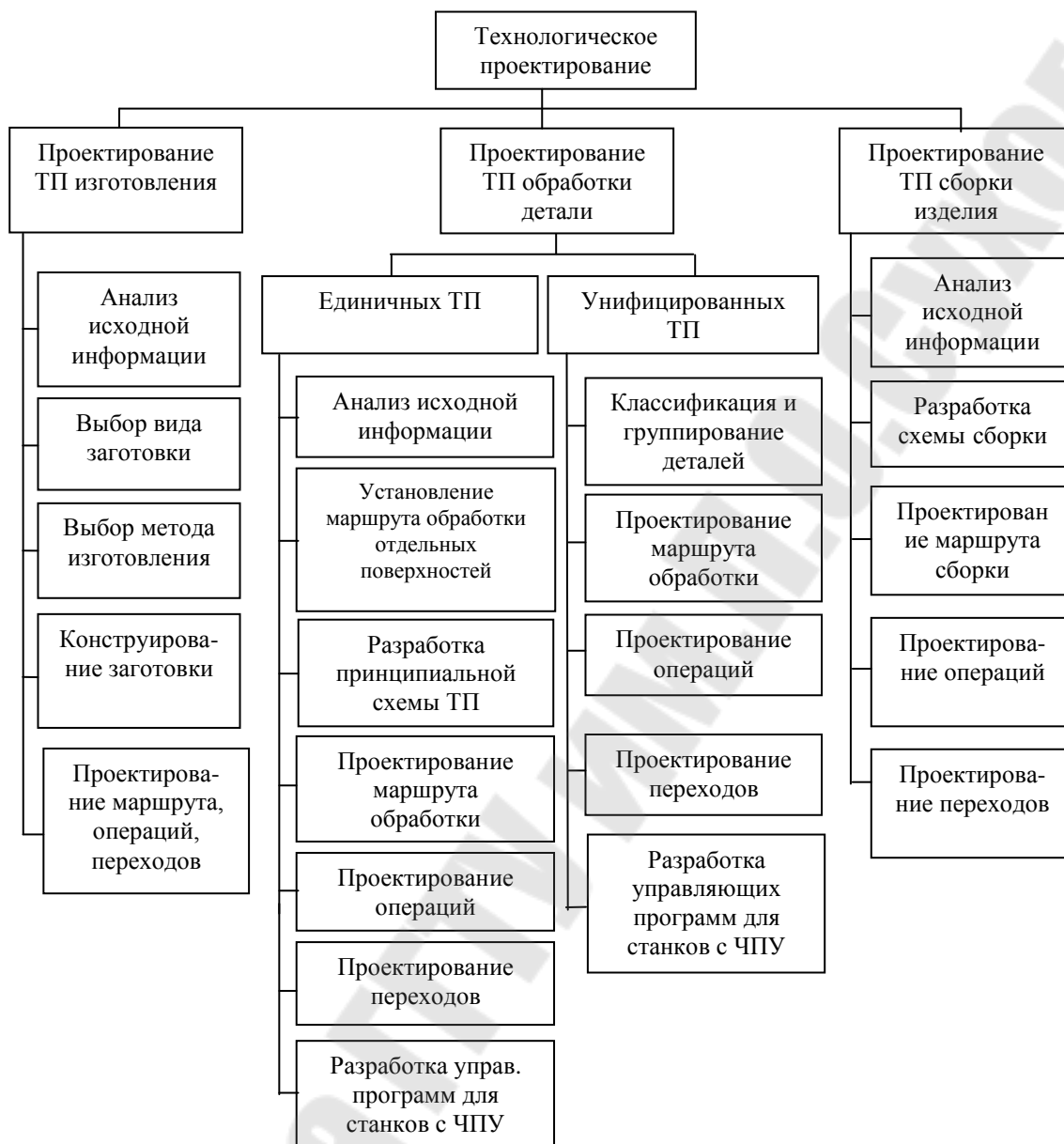
- небольшой объем программного обеспечения;
- простота введения изменений в алгоритмы путем корректировки данных, хранимых в базе данных (знаний);
- повышение адаптивных свойств САПР ТП.

Недостаток декларативного представления графика соответствия: пониженное быстродействие из-за необходимости работы с базой данных (знаний) и интерпретирующего характера универсального модуля, обрабатывающего графики соответствия.

21 Разновидности технологического проектирования и моделирование структуры технологического процесса

Технологическое проектирование подразделяется на три основные части (см. рисунок):

- изготовления заготовки;
- обработки детали;
- сборки изделия.



Проектирование ТП изготовления заготовки. Основными факторами, определяющими вид заготовки, являются материал детали, ее конфигурация, габаритные размеры и объем выпуска или тип производства.

Проектирование ТП обработки детали. В проектировании ТП обработки различаются следующие стадии: разработка маршрута обработки отдельной поверхности, разработка принципиальной схемы ТП, разработка переходов, разработка операций, разработка технологического маршрута.

Принципиальная схема ТП – это последовательность этапов обработки. Этап – это одна или несколько операций, связанных с решением какой-то конкретной задачи (подготовка технологических баз, черновая обработка поверхностей, термообработка и т.д.).

С точки зрения последовательности выполнения названных стадий разработки ТП возможны два подхода:

Первый подход содержит следующую последовательность стадий:

принципиальная схема ТП → маршрут → операция → переход.

На каждой последующей стадии решение предыдущей стадии детализируется (как правило, в нескольких вариантах) и выбирается оптимальное.

Второй подход основан на анализе отдельных поверхностей и проектировании переходов их обработки. Далее переходы упорядочиваются в операции, а операции – в маршруты обработки детали. Второй подход имеет следующую последовательность:

переход → операция → маршрут.

При большом разнообразии обрабатываемых деталей по формам, размерам может быть использована лишь типизация маршрута обработки отдельных поверхностей. Исходя из этого, выбирают второй подход к проектированию (переход → операция → маршрут).

Когда изготавливаемые изделия характеризуются большим объемом выпуска и меньшей номенклатурой, проектирование ТП производят на базе унифицированных ТП по первой схеме (маршрут → операция → переход).

Независимо от подхода проектирование технологических процессов механической обработки начинается с изучения и анализа *исходных данных*: рабочего чертежа детали с соответствующими техническими условиями изготовления, чертежа исходной заготовки и программы выпуска.

После этого по технологическим классификаторам деталей анализируется возможность изготовления детали по существующим на предприятии типовым и групповым ТП.

При отсутствии возможности использования существующих унифицированных ТП после проведения указанной подготовительной работы технолог приступает к проектированию *единичного* ТП.

Проектирование ТП представляет собой сложную многовариантную задачу, правильное решение которой требует проведения ряда расчетов. При проектировании процессов обработки сложных деталей составляется несколько возможных вариантов обработки, окончательный выбор которых производится на основании расчетов и сопоставления достигаемой точности, трудоемкости,

технологической себестоимости и срока окупаемости капитальных затрат.

В начале проектирования технолог предварительно устанавливает виды и *маршрут обработки отдельных поверхностей* и методы достижения их точности, соответствующие требованиям чертежа, серийности производства и существующего оборудования. После этого разрабатывается *принципиальная схема ТП*. Далее технологический процесс проектируется в пределах этапов: назначаются технологические базы, устанавливается последовательность переходов, содержание и последовательность операций, т.е. технологический маршрут обработки.

Разработка управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ начинается с определения траектории движения инструмента, скорости рабочих и холостых ходов. Направления и величины перемещений устанавливаются исходя из конфигурации обрабатываемых поверхностей. Установленная последовательность обработки кодируется и записывается на программноносителе. Полученная в итоге УП представляет собой сумму указаний рабочим органам станка на выполнение действий, из которых складывается весь процесс обработки в операциях, выполняемых на станках с ЧПУ.

Проектирование ТП сборки изделий. Конструктор изделия при составлении сборочных чертежей должен решить вопрос о методе обеспечения заданной точности замыкающих звеньев размерных цепей изделия. При анализе исходной информации технолог проверяет выбранное решение. Принятый метод сборки должен быть достаточно полно отражен в сборочном чертеже и оговорен в технических условиях на приемку изделия. Изучение собираемого изделия завершается составлением технологических схем общей и узловой сборки. Эти схемы отражают последовательность сборки изделия и его составных частей. Схемы сборки снабжают надписями, поясняющими характер сборочных работ и выполняемый при сборке контроль (запрессовка, пайка, клепка, выверка, проверка зазоров).

Маршрут сборки включает в себя установление последовательности технологических и вспомогательных операций на основе технологических схем. Содержание операций определяют в зависимости от типа производства и темпа сборки. При проектировании операций окончательно выбирают оборудование, приспособления и инструменты, устанавливают последовательность переходов, назначают режимы работы сборочного оборудования и механизированных инструментов.

22 Функциональная схема САПР ТП

Основу задания на проектирование технологического процесса составляют сведения о детали, которые при неавтоматизированном проектировании задаются в виде чертежа с множеством специальных обозначений и перечнем технических требований, изложенных в виде текста. Эту информацию при автоматизированном проектировании необходимо ввести в ЭВМ (компьютер).

В ЭВМ, как правило, предусмотрена возможность ввода лишь буквенно-цифровой информации. К такому виду необходимо привести всю информацию о детали: описание ее конфигурации, размерных связей, технических требований. Следовательно, нужно разработать буквенно-цифровую модель, позволяющую с помощью системы формальных правил представить информацию о детали.

Необходимой информацией для проектирования ТП являются сведения о парке металлообрабатывающего оборудования на предприятии, технических характеристиках станков, режущем, вспомогательном и измерительном инструментах, станочных приспособлениях, заготовительном производстве, ГОСТах, нормалях, всех необходимых руководящих и нормативных материалах. При автоматизированном проектировании необходимо организовать информационно-справочную службу, которая могла бы обеспечить процесс проектирования необходимой справочной информацией.

Процесс автоматизированного проектирования базируется на множествах типовых решений и алгоритмах их выбора. Их описание также нужно формализовать, организовать их ввод, размещение в памяти ЭВМ и предусмотреть возможность оперативной работы с ними.

Таким образом, для организации автоматизированного проектирования ТП с помощью ЭВМ необходимо:

- разработать метод формализованного описания исходной информации о детали;
- разработать совокупность типовых решений и алгоритмов их выбора применительно к условиям производства, где система проектирования будет эксплуатироваться;
- организовать информационно-поисковую службу в ЭВМ;
- формировать технологические документы.

Все названные задачи могут быть представлены как задачи обработки информации. С этой точки зрения проектирование ТП можно разделить на три основных блока:

- 1 подготовка информации;
- 2 обработка информации при проектировании ТП;
- 3 формирование, контроль и анализ выходной информации.

23 Варианты обработки информации в САПР ТП (Уровни автоматизации)

Проектирование ТП начинается с анализа чертежа детали. После этого формируется переменная (или входная) информация – информация о детали, для которой необходимо спроектировать ТП. Эта деталь называется текущей. Входная информация может быть представлена в виде кода, таблицы кодированных сведений, машинной графики или на формализованном языке.

Условно-постоянная информация – это информация, необходимая для проектирования ТП, исходя из содержания переменной информации. К этой информации относятся сведения о применяемом оборудовании, средствах технологического оснащения, нормативные материалы для выбора режимов обработки и расчета норм времени.

При каждом проектировании ТП на разные детали информация о детали, введенная для проектирования ТП, будет разной. Поэтому эту информацию и назвали переменной. Информация об оборудовании и оснащении при проектировании ТП на разные детали меняется гораздо реже, хотя тоже может измениться. Потому она называется условно-постоянной.

Переменная информация о деталях, на которые проектировались или будут спроектированы ТП, хранится в базах данных деталей.

Условно-постоянная информация может храниться в базах данных и в базах знаний. Ее выбор и решение других задач проектирования может выполняться по разработанным технологами алгоритмам.

Блок обработки информации, т.е. блок проектирования ТП, включает три возможных варианта.

Первый – ручная обработка информации. В этом случае все решения технолог принимает сам, без ЭВМ. Выполняется лишь анализ информации о детали без разработки и ввода переменной информации в ЭВМ. Такой метод проектирования называется методом *прямого документирования*, а САПР ТП – *технологическим редактором*.

Второй вариант – автоматизированный. Он предполагает решение некоторых задач без участия человека и ожидает ввода информации о детали или в виде переменной информации, или в ходе проектирования ТП в диалоге. ЭВМ в основном решает расчетные задачи, т.е. определяет параметры ТП: вес заготовки, режимы обработки, нормы времени. Данные, необходимые для расчета, должны быть организованы в базах данных.

Третий вариант проектирования – автоматический, с обязательным вводом переменной информации. Здесь и расчетные, и нерасчетные задачи ЭВМ решает без участия технолога по введенным

ранее алгоритмам. При работе в автоматическом режиме технолог вводит только информацию о детали. В этом случае необходимо наличие и базы данных, и базы знаний. САПР ТП такого уровня сложны в организации, относятся к *экспертным системам* – разновидностям искусственного интеллекта. Для снижения сложности таких систем используется локализация – сужение номенклатуры деталей до определенного типа или группы. В этом случае метод проектирования – на *основе типизации*.

Последний блок САПР ТП – блок контроля и анализа выходной информации, результата проектирования. Для САПР ТП это – описание технологического процесса (маршрутная карта, операционные карты, эскизы, ведомость оснастки). Задачу этого блока проектировщик выполняет без компьютера при любом виде проектирования.

Различают три уровня автоматизации технологического проектирования:

Первый уровень: Автоматизация оформления технологической документации (маршрутные, операционные карты и другие документы).

Второй уровень: Автоматизация поиска и расчетных задач.

Третий уровень: Автоматизация принятия сложных логических решений.

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, 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*, когда технолог заполняет бланк технологической карты на экране монитора, он 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. Расчетные задачи также 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 параметрическую модель детали с наибольшей степенью детализации, в то же время объем вводимой технологической информации на этом уровне еще больше уменьшается.

24 Классификация и кодирование информации о детали

Классификацией называют разделение множества объектов на подмножества на основе учета общих признаков объектов и закономерных связей между ними. Совокупность методов и правил классификации образует *систему классификации*.

Признаком классификации называют свойство или характеристику объекта, которые могут принимать качественное или количественное выражение, называемое значением признака классификации.

Существует два основных метода классификации: иерархический и фасетный. При *иерархическом методе* заданное множество объектов последовательно разделяется на подчиненные классификационные группировки. *Фасетный метод* предусматривает параллельное разделение множества объектов на независимые классификационные группировки по различным признакам классификации.

С классификацией непосредственно связан процесс кодирования.

Код – совокупность знаков (символов) и система определенных правил, при помощи которых информация может быть представлена в виде набора символов для передачи, обработки и хранения.

Кодирование – преобразование информации в код.

Классификатор ЕСКД содержит 99 классов. Например, класс 04 объединяет металлорежущее и деревообрабатывающее оборудование; класс 21 – приборы и устройства для измерения; для всех видов технологической оснастки предназначены классы 28 и 29.

По технологическому классификатору технологический код подразделяется на основной и дополнительный и имеет следующую структуру:



Как видно из содержания, код классификационной характеристики определяет назначение и геометрию детали, а технологический код уточняет геометрию, материал, вид заготовки, термической обработки. Эти два кода объединяются как КТК–конструкторско-технологический код, и он может использоваться при проектировании ТП по аналогу для нахождения детали-аналога и при автоматизированном проектировании ТП на основе типизации.

25 Таблица кодированных сведений

Описание детали в виде таблицы ближе к машинной форме хранения информации. Таблица кодированных сведений (ТКС) – это несколько массивов, объединяющих информацию о различных свойствах детали. Поверхностям детали присваиваются номера от левого крайнего торца к крайнему правому торцу.

Массив представляет множество строк по числу элементарных поверхностей детали. Каждая строка состоит из столбцов, описывающих свойства поверхностей: форму, размер, точность

размеров, шероховатость, относительное расположение. Посредством одной ТКС создается одна строка описания, а полное описание детали состоит из пяти разновидностей ТКС.

ТКС 1–используется однократно, содержит три столбца (ячейки): обозначение, наименование и материал детали. Ячейки отделяются наклонной чертой «/».

ТКС 2–однократно для общих сведений о детали: твердость, точность неуказанных предельных отклонений, неуказанная шероховатость.

ТКС 3 заполняется для каждой поверхности и содержит номер поверхности, код формы поверхности, размеры поверхностей.

ТКС 4 заполняется в случае наличия у поверхности особенностей. Например, если задано отклонение расположения поверхности относительно других.

ТКС 5–при отсутствии явно заданной длины и для указания габаритной длины детали.

ТКС содержит полную информацию о детали и применяется при автоматизированном или автоматическом проектировании на основе типизации, синтеза.

26 Формализованный язык

Описание детали на одном из первых формализованном языке, предложенным В.Д. Цветковым, включает следующие группы данных:

А. Наименование и обозначение детали.

Б. общие сведения о детали.

В. Сведения об элементарных поверхностях.

Д. данные о форме детали.

Е. сведения о различных связях и технических требованиях.

Описание на формализованном языке более компактно и менее формализовано, чем ТКС, т.е. позволяет произвольное представление данных. Оно содержит также полную информацию о детали и имеет такую же применимость.

27 Представление данных в САПР

Данное – разновидность информации, характеризующая какое-то свойство одного объекта. При этом данное – это одно сведение об одном объекте. Объект имеет много характеристик (свойств, параметров, фактов, сведений), значит, и множество данных.

Данному присваивается имя, и определяется значение данного. Например, объект деталь имеет данные с именами: обозначение, наименование, вес, материал. Вместе с присвоенными значениями

можно описать конкретную деталь: наименование = вал; вес=0,3; материал = сталь 45.

Понятно, что, используя одни и те же приведенные свойства (имена данных), можно описать множество подобных конкретных объектов. Данные будут различаться своими значениями.

Данные бывают числовые, символьные (текстовые), логические, дата и время.

Как нетрудно догадаться, все эти разновидности данных можно организовать (т.е. представить и ими управлять), используя базу данных.

Имена данных представлены как шапки столбцов, а значения – в ячейках.

28 Представление знаний в САПР

Знание – это разновидность информации, содержащее умозаключение. Знание должно быть сведением о характере связи разнотипных объектов. Например, как связаны между собой обрабатываемая заготовка и станок, станок и режущий инструмент.

Существует несколько классификаций знаний. При автоматическом проектировании ТП нас интересуют алгоритмические, или процедурные знания. Они представляются, используя правило «ЕСЛИ-ТО». Например:

ЕСЛИ Наименование = вал, ТО выбирается Вид станка = токарно-винторезный.

Эта информация является знанием, т.к. содержит сведения о связи формы детали и вида станка двух разнотипных объектов – заготовки и станка, т.е. содержит умозаключение или логический вывод.

Выделяют еще фактуальные (или декларативные) знания. Они подобны данным, т.е. характеризуют объект, и их можно представить в базе данных.

Существуют десятки моделей (или языков) представления знаний для различных предметных областей. Большинство из них может быть сведено к следующим классам:

- производственные модели;
- фреймы.

Производственная модель, или модель, основанная на правилах. Эта модель позволяет представить знания в виде предложений типа «Если (условие), То (действие)», т.е. алгоритмические знания.

Под «условием» понимается некоторое предложение-образец, по которому осуществляется поиск в базе знаний, а под «действием» – действия, выполняемые при успешном исходе поиска (они могут быть

промежуточными, выступающими далее как условия, и терминальными, или целевыми, завершающими работу системы).

Чаще всего вывод на такой базе знаний бывает прямой (от данных к поиску цели) или обратный (от цели для ее подтверждения к данным). Данные – это исходные факты, хранящиеся в базе данных, на основании которых запускается машина вывода или интерпретатор правил, перебирающий правила из продукционной базы знаний.

Продукционная модель чаще всего применяется в промышленных экспертных системах. Она привлекает разработчиков своей наглядностью, высокой модульностью, легкостью внесения дополнений и изменений и простотой механизма логического вывода.

29 Понятие о таблицах решений

Наиболее удобный инструмент представления инженерных знаний – таблицы решений – используют фреймы (комплексные таблицы) и системы продукций (таблицы решений с ограниченными и расширенными входами).

Таблицы решений (ТР) зарекомендовали себя как удобное средство, позволяющее четко, быстро и просто описывать сложные ситуации. Впервые язык программирования, основанный на таблицах решений, был предложен в 1964 году Л. А. Ломбарди.

Перечислим преимущества использования ТР:

- компактная, обозримая форма анализа задачи;
- единое (вместо последовательного) описание задачи;
- легкая изучаемость;
- требуемая ясность представления задачи, позволяющая легко установить, где отсутствует информация;
- простые возможности контроля полноты и содержательной корректности;
- возможность внесения изменений и добавлений в базу знаний специалистами предметной области без привлечения программистов.

Для технологического проектирования используются три типа ТР:

- 1 комплексные таблицы (КТ);
 - 2 таблицы решений с ограниченными входами;
- таблицы решений с расширенными входами.

30 Комплексная таблица решений

Комплексная таблица (КТ) представляет собой описание конкретного объекта, процесса, явления, в котором всем элементам соответствуют определенные значения. Комплексные таблицы служат

для той же цели, что и фреймы, описанные выше, и имеют следующие достоинства: естественность, наглядность представления, модульность.

КТ состоит из поименованных элементов – разделов (как фреймы – из слотов), характеризующих объект, и в этих разделах могут использоваться арифметические выражения для расчета значения данных. Разделы могут быть также заполнены конкретными значениями данных. Кроме того, предусмотрен механизм ссылок на другие таблицы, что позволяет конструировать сложные структуры, т.е. реализовать связи между понятиями предметной области.

Так же как фреймы, таблицы представляются в двух вариантах: образцы и экземпляры. Образцы хранятся в базах знаний и содержат описание объекта в общем виде. Данные представлены только именами, формулами. А таблица-экземпляр содержит уже конкретные значения объекта. Для объекта «Технологический переход» таблица-экземпляр заполнена размерами, режимами обработки, шифрами инструментов, определенными для обработки конкретной детали. Описание детали должно быть представлено или с помощью ТКС, или на формализованном языке.

31 Таблицы решений с ограниченными входами

В таблицах решений с ограниченными входами (ТРО) входные условия являются логическими выражениями, представляются в виде вопроса и принимают значения «да», «нет». Каждая таблица состоит из заголовка (имя таблицы и комментариев к ее имени) и «тела» таблицы. «Тело» состоит из разделов, которые компоуются в зависимости от вида ТР. ТРО подразделяются на следующие виды:

- условные;
- безусловные;
- циклические;
- комбинированные.

Условная ТРО включает в себя четыре основных раздела:

1 Список условий.

2 Правила выбора решений (действий) – столбцы правил, или ситуации.

3 Список решений.

4 Указатели порядка выполнения решений.

Кроме этих четырех разделов, могут быть приведены комментарии к каждому условию и решению (разделы 5 и 6). Таблицы, содержащие, кроме указанных, разделы 7 и 8, называются комбинированными: 7 – это безусловная часть, состоит из равенств (присвоений или действий), 8 – это комментарий к равенствам. Кроме того, могут отсутствовать условия (безусловные ТР), и ТР приобретает вид последовательного

алгоритма с указанием действий. С помощью ТРО также можно организовать циклы. Место расположения разделов ТРО приведено в таблице.

Место расположения разделов в таблицах решений с ограниченными входами

8 Комментарии	7 Присвоения	
5 Комментарии	1 Условия (ЕСЛИ)	2 Ситуации
6 Комментарии	3 Решения (ТО)	4 Последовательность решений

32 Таблицы решений с расширенными входами

В отличие от ТР с ограниченными входами, входы которых принимают только значения «да» и «нет», ТР с расширенными входами имеют множество значений входных условий. В таблице также может быть одно или несколько входных условий.

Таблицы с расширенными входами содержат данные об объектах, так же, как и базы данных. Отличие в том, что таблица решений содержит правило выбора «ЕСЛИ» «ТО» Т.е., в этой таблице представлено знание, например, выбор обозначения фрезы в зависимости от ширины обрабатываемого паза. Иными словами в таблице с расширенными входами отражено умозаключение о связи инструмента и детали через их данные.

С помощью таблиц решений с расширенными входами организуется выбор СТО (средств технологического оснащения), расчеты режимов обработки и норм времени, уточнение чисел оборотов шпинделя и подачи применительно к конкретному оборудованию и т.д. Таблицы хранятся в базе знаний экспертной системы. При проектировании ТП в условиях имени данных заменяются их значениями. Решения в виде значений заносятся в раздел таблицы-экземпляра КТ, далее посредством механизма оформления они переносятся в технологическую документацию.

33 Понятие о методах автоматизированного проектирования ТП, процесс принятия решений в САПР ТП

Процесс формирования ТП в общем случае – совокупность процедур структурного и параметрического синтеза с принятием и последующим анализом проектных решений. Принятие решения по

каждой задаче, за исключением задач расчетного характера, производится в результате выбора известных типовых решений с учетом условий применимости. Для этого, как указано в статье Петухова А.В. «Модель принятия решений при проектировании технологических процессов изготовления опытных образцов», достаточно описать весь набор типовых решений, а также условий, при которых может быть выбрано каждое из решений.

По уровню решаемых задач типовые решения подразделяются на две группы: локальные и глобальные. Локальное типовое решение относится к частной технологической задаче, определяющей технологический элемент (например, модель станка при назначении станка на операцию). Глобальное типовое решение охватывает весь круг решаемых задач. Примером такого решения является типовой ТП изготовления деталей определенного типа, выбранный из множества типовых ТП.

В технологии машиностроения существуют три уровня унификации обработки: отдельной поверхности, сочетания поверхностей и детали в целом. С учетом перечисленные факторов, а именно, характера решаемых задач (расчетные или нерасчетные); разновидностей типовых решений (локальные или глобальные) и используемых уровней унификации обработки, можно выделить следующие методы автоматизированного проектирования ТП:

- 1 прямое документирование;
- 2 параметрический;
- 3 использование аналогов;
- 4 проектирование на основе типизации, или унифицированных ТП;
- 5 синтез.

34 Метод прямого документирования

Этот метод использует средства оформления документации, отбора информации из базы данных и предоставляет технологу следующие возможности:

- набора и корректировки текста проектного документа в специализированном редакторе;
- просмотра и распечатки данных, копирования, удаления записей по одной и блоками, нумерации переходов и операций;
- обращения к справочникам, базам данных средств оснащения, типовых текстов, нормативов;
- подключения новых справочных информационных массивов;
- формирования архива и работы с ним;

- автоматического формирования технологической документации.

Как видно из перечня выполняемых функций, уровень автоматизации очень низкий, а проектирование – трудоемкий процесс. При данном методе не требуется специальное описание информации о детали. Технолог работает с чертежом детали, как и в случае ручного проектирования, и все решения принимает сам. Ясно, что этим методом можно получить ТП на любую деталь.

35 Параметрический метод

Сущность параметрического метода заключается в разделении функций между ЭВМ и человеком. Технологическое проектирование в этом случае состоит из двух этапов.

Первый этап – безмашинное проектирование ТП. На этом этапе вручную решаются следующие трудноформализуемые творческие по характеру задачи:

- формирование структуры ТП (технологического маршрута и последовательности переходов в операциях);
- выбор модели оборудования и методов обработки;
- выбор технологических баз, схем установки и типов приспособлений;
- установление размерной структуры ТП и технических требований на расположение поверхностей.

Второй этап – автоматизированное проектирование параметров ТП и отдельных операций. Он начинается с ввода в ЭВМ информации о детали (наименование, материал, твердость, покрытие и т.д.), структуре ТП (номер, наименование операций, переходов), размерной структуре. Затем в автоматическом режиме решаются следующие задачи проектирования:

- расчет припусков на обработку, операционных размеров и допусков на них;
- выбор средств технологического оснащения (режущего, вспомогательного и измерительного инструментов);
- расчет режимов резания и норм времени;
- формирование документации;
- формирование информации для АСУП.

Системы автоматизированного проектирования рассматриваемого типа легко адаптируются к производственным условиям, требуют введения небольшого объема исходных данных и легко воспринимаются технологами. С их помощью можно проектировать ТП для широкой номенклатуры деталей, включая и сложные. Однако

эффективность решений в таких системах во многом зависит от квалификации технолога.

Как и в случае прямого документирования, здесь не требуется специальное описание информации о детали. Данные о детали и заготовке, необходимые для выполнения расчетов, вводятся по запросу системы в диалоговом режиме.

Системы параметрического проектирования являются автоматизированными системами низкого уровня, с которых целесообразно начинать автоматизацию технологического проектирования. Они помогают быстрее снять так называемый психологический барьер, существующий между технологом и вычислительной техникой, отработать организацию работ на предприятии при проектировании ТП с помощью ЭВМ, создать, отладить и освоить базы данных технологического назначения.

36 Метод использования аналогов

В основу метода использования аналогов положен принцип заимствования ранее принятых технологических решений. В процессе эксплуатации системы проектирования накапливаются типовые, групповые и единичные технологии, унифицированные операции, планы обработки конструктивных элементов и поверхностей. При формировании текущей технологии пользователю предоставлен доступ к соответствующим архивам и библиотекам, хранящим накопленные решения. Схема автоматизированного получения ТП в этом случае будет следующей:

деталь → деталь-аналог → процесс на деталь-аналог → процесс на деталь.

В этом методе в первую очередь выполняют поиск детали-аналога. Поиск детали-аналога можно осуществить двумя способами:

- 1) вручную (по десятичному номеру в архиве);
- 2) на ЭВМ с помощью информационно-поисковой системы (ИПС).

Поиск на ЭВМ может осуществляться по общим характеристикам детали, например: габариты (длина, диаметр, ширина), форма по коду ЕСКД. Необходимо, чтобы все детали были закодированы и занесены в базу данных. Но на большинстве предприятий нет баз данных с характеристиками деталей. Накопление БД будет происходить постепенно. Чем полнее будет база данных, тем выше вероятность нахождения поиска детали-аналога. Количество деталей в базе может достигать сотни тысяч. Трудоемкость создания такой базы зависит от полноты информации о детали. Наиболее просто заполнить БД только по общим характеристикам. Результаты поиска будут, возможно, не совсем точными, т.е. могут выбраться детали не очень подобные, но

зато сам поиск будет идти достаточно быстро. Если выполнять полное кодирование деталей, то поиск будет выполняться более точно, однако трудоемкость заполнения такой базы данных будет весьма высокой.

После нахождения ТП на деталь-аналог он подвергается преобразованию на основе информационной модели текущей детали: структура ТП преобразовывается путем исключения лишних структурных элементов ТП (операций, переходов) или внесения необходимых элементов, если в ТП детали-аналога такие элементы структуры отсутствуют. Все эти действия выполняются по *методике прямого документирования*. Метод аналога чаще применяется при проектировании ТП для деталей типовых форм, отличающихся только размерами (например, одновенцовые зубчатые колеса, валы-шестерни).

Если процесс найден и может быть использован, то целесообразно вернуться к САПР ТП, в которой используется метод адресации и отредактировать найденный ТП применительно к заданной детали.

Однако на пути использования этого метода есть «подводные камни» например, если найдены детали-аналоги, то технология их изготовления не всегда может подойти для заданной детали:

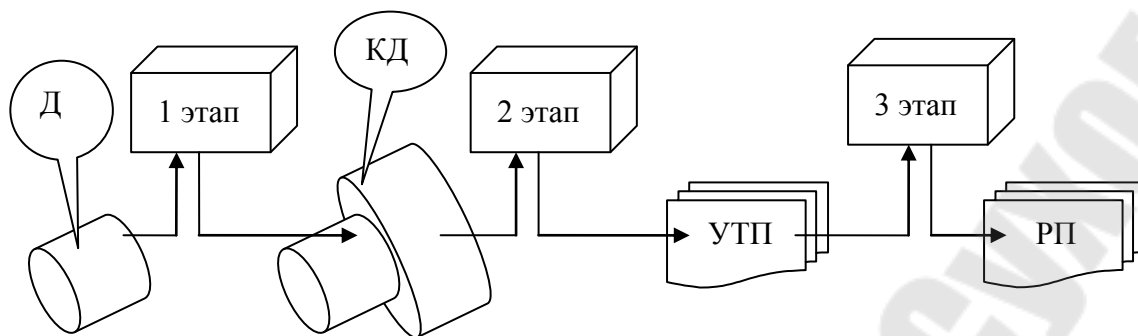
Во-первых, деталь-аналог может иметь устаревшую технологию ее изготовления. В технологическом процессе может использоваться технологическое оснащение, которое уже отсутствует на предприятии.

Во-вторых, если партии детали-аналога и проектируемой детали сильно отличаются, то найденный процесс трудно будет заимствовать.

37 Метод проектирования на основе типизации

Метод проектирования на основе типизации и метод использования аналогов называют также методом анализа, или адресации. При этом проектирование основано на использовании метода групповой обработки деталей и организации группового производства. Для этого метода характерна высокая типизация решений. Предельная типизация решений достигается при использовании типовых ТП. Разновидностью метода адресации является метод, основанный на заимствовании существующих ТП на основе поиска деталей-аналогов.

Общая схема проектирования методом адресации представлена на рисунке.



Д – модель детали; КД – модель комплексной детали; УТП – унифицированный технологический процесс; РП – рабочий ТП.

Модель k-й комплексной детали – это описание множества деталей, которые можно обработать на k-ом УТП.

Первый этап проектирования – предназначен для поиска комплексной детали. Результатом выполнения этого этапа является номер выбранной комплексной детали.

Второй этап проектирования – предназначен для выборки из базы данных модели унифицированного технологического процесса для найденной комплексной детали.

Третий этап проектирования – предназначен для настройки унифицированного технологического процесса на обработку заданной детали. На этом этапе модель УТП преобразуется в модель рабочего технологического процесса, по которому будет обработана заданная деталь.

В методе типизации используются все три уровня унификации обработки, и метод воплощает идею «от общего к частному».

Проектирование на основе унифицированных ТП является основным методом проектирования ТП при эксплуатации гибких производственных систем. Применение этого метода дает наибольший эффект при наличии на производстве групповых и типовых ТП, т.к. метод не нарушает существующей специализации производственных подразделений, упрощает процесс проектирования САПР, не требует трудноформализуемых процедур синтеза новых структур.

Достоинства метода адресации:

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 адресации:

Использование этого метода возможно лишь в условиях, когда на предприятии имеется развитая групповая технология.

38 Метод синтеза

Этот метод используется для оригинальных деталей. Его нельзя причислить к методам, значительно сокращающим трудоемкость проектирования, но вместе с тем его использование оправдано в случаях изготовления уникальных для данного производства деталей [31], ввиду его универсальности, выражающуюся в возможности проектирования технологических процессов на детали и сборочные единицы для любых изделий. Базу метода составляют локальные типовые решения. Технологический процесс в целом формируется (синтезируется) из решений частных задач, определяющих элементы ТП. Частные задачи решаются по-разному: *в диалоге* (автоматизированное проектирование) или по алгоритмам из базы знаний *экспертной системы*. Это деление определяется уровнем участия человека при принятии решения в процессе проектирования. При диалоговом проектировании технолог все определяющие решения (о структуре и параметрах ТП, операций, переходов, об оборудовании и оснащении) принимает самостоятельно, а ЭВМ оказывает ему методическую, организационную и информационную помощь. Таким образом, в основе метода лежит положение о том, что проектирование технологических процессов является многоуровневым и итерационным. Наиболее общие решения принимаются на первом уровне. Далее происходит оценка и отбор полученных вариантов по какому-либо критерию. Полученные варианты участвуют в принятии решения на втором уровне и так далее. При уточнении ранее принятых решений может оказаться, что они не могут быть использованы, поэтому необходим возврат к предшествующим уровням, т.е. возникает обратная связь, необходимая для осуществления итерационных процессов.

Достоинства метода синтеза:

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

Недостатки метода синтеза:

- метод является сложным и поэтому процесс проектирования ТП идет достаточно долго;

- чем выше уровень автоматизации, тем сложнее настраивать систему проектирования на условия предприятия и сложнее ее сопровождать.

Метод прямого документирования, параметрический и, как видно уже из названия, синтез ТП относятся к группе методов проектирования синтезом. В этих случаях ТП создается, составляется, синтезируется из типовых решений либо с использованием, либо без использования баз знаний.

Совместное использование методов. Так как каждый метод имеет свои ограничения, то целесообразно использовать их совместно. Методы проектирования целесообразно использовать в следующей последовательности:

- метод адресации;
- метод синтеза;
- поиск детали аналога и заимствование процесса на деталь-аналог.

Если при проектировании методом адресации не удалось спроектировать ТП, то необходимо переходить к методу синтеза. Если технолога постигла неудача при использовании метода синтеза ТП, то целесообразно осуществить поиск детали-аналога и постараться заимствовать технологический процесс на деталь-аналог. Если процесс найден и может быть использован, то целесообразно вернуться к САПР ТП, в которой используется метод адресации и отредактировать найденный ТП применительно к заданной детали.

39 Разработка автоматизированной системы на основе типизации

Метод на основе типизации применяется для автоматического проектирования ТП в среде САПР ТП, при этом используются все три уровня технологической унификации: уровень обработки отдельной поверхности, сочетаний поверхностей, всей заготовки. Для автоматического проектирования ТП требует полное описание детали в виде таблицы кодированных сведений или на формализованном языке.

Разработка автоматизированной системы на основе типизации выполняется в следующем порядке.

1 Основопологающей частью метода является проблемно-ориентированная система классификации и группирования деталей. Все детали, подлежащие переводу на автоматизированное проектирование ТП, разделяются на группы. Число наименований деталей в группе может колебаться от 50 – 100 для сложных и до 400 – 500 для простых деталей.

2 Для каждой группы деталей создается комплексный представитель (комплексная деталь). При этом за основу принимается чертеж детали, имеющей наибольшее число поверхностей, к которому добавляются поверхности других деталей группы.

На чертеже комплексной детали должны быть показаны поверхности всех деталей данной группы. Размеры поверхностей проставляются в буквенно-цифровом выражении, т.е. указываются имена данных, характеризующих поверхность. Например, для цилиндрической поверхности диаметр D , длина L . Указывается диапазон изменения значений данных: минимальный и максимальный размеры рассматриваемой поверхности деталей, входящих в группу.

Поверхности комплексного представителя, координатные оси, точки нумеруются по определенным правилам. При решении задач проектирования номера поверхностей играют роль кодовых чисел или признаков, по значениям которых определяется число ступеней обработки, метод обработки и т.д.

3 После разработки чертежа комплексной детали составляется унифицированный ТП для ее обработки. Далее определяется содержание операций – состав и последовательность технологических переходов, выбирается оборудование, технологическая оснастка и разрабатывается наладка станка, определяются режимы обработки и нормы времени.

Все эти технологические задачи решаются в общем виде, используя модели представления знаний: продукционные модели (таблицы решений с ограниченными и расширенными входами), фреймы-образцы (комплексные таблицы решений – образцы). Модели хранятся в базах знаний автоматизированной системы.

Унифицированный ТП является избыточным для текущей детали из группы, т.е. содержит операции и переходы обработки всех поверхностей деталей группы.

40 Проектирование конкретного технологического процесса

В ходе проектирования технологического процесса изготовления конкретной детали определяется ее принадлежность к той или иной группе. Для этой цели можно использовать конструкторско-технологический код. Код конкретной детали сопоставляется с кодом комплексной.

Проектирование ТП конкретной детали выполняется в следующем порядке.

1 Составляется и вводится в компьютер исходная информация о детали. Если есть разработанный чертеж заготовки, информацию о

заготовке также необходимо ввести.

2 Запускается и выполняется проектирование ТП. В ходе проектирования анализируется необходимость включения в конкретный процесс каждой операции и перехода унифицированного ТП. Для этого каждой операции и переходу унифицированного ТП соответствует логическая функция (УФ – условие формализованное). Логическая функция включает в себя условия, учитывающие геометрические особенности поверхности, баз заготовки, требуемую точность обработки, качество поверхности, габаритные размеры детали.

3 Выполняется контроль спроектированного ТП.

4 При обнаружении ошибок в ТП корректируются модели представления знаний.

Проектирование на основе унифицированных ТП является основным методом проектирования ТП при эксплуатации гибких производственных систем. Этот метод относится к методам анализа, от общего к частному – из разработанных общих решений путем анализа вычленяется подходящее решение.

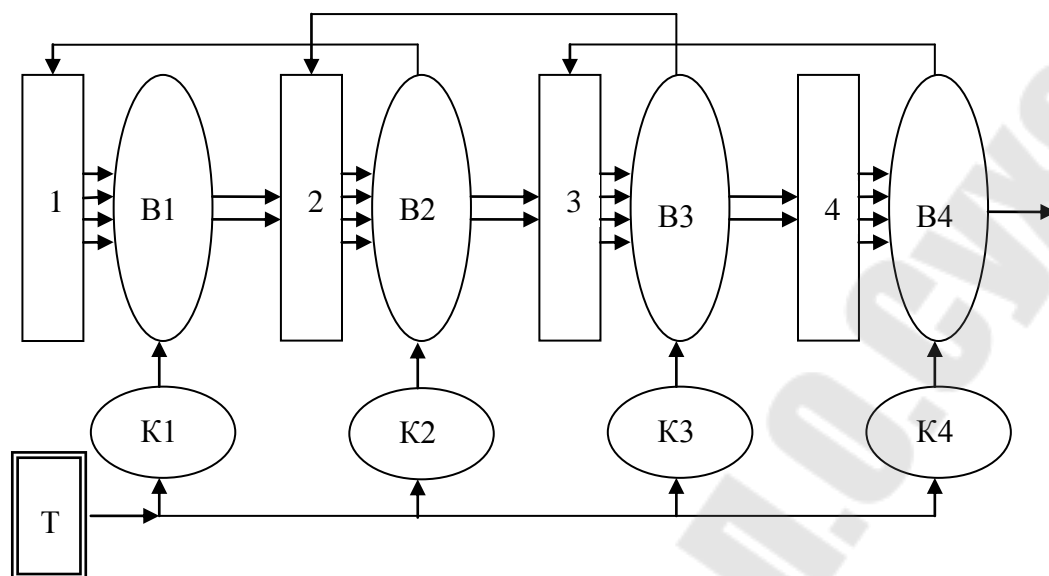
Применение этого метода дает наибольший эффект при наличии на производстве групповых и типовых ТП, т.к. метод не нарушает существующей специализации производственных подразделений, упрощает процесс проектирования САПР, не требует трудноформализуемых процедур синтеза новых структур.

41 Общий подход к проектированию маршрута методом синтеза

В основе метода лежит положение о том, что проектирование технологических процессов является многоуровневым и итерационным. Наиболее общие решения принимаются на первом уровне. Далее происходит оценка и отбор полученных вариантов по какому-либо критерию. Полученные варианты участвуют в принятии решения на втором уровне и так далее. При уточнении ранее принятых решений может оказаться, что эти не могут быть использованы, поэтому необходим возврат к предшествующим уровням, т. е. возникает обратная связь, необходимая для осуществления итерационных процессов.

Впервые метод синтеза технологических процессов был предложен В.Д. Цветковым еще в 1969 году. Принципиальная схема синтеза, иллюстрирующая данный метод показана на рисунке. В методе В.Д. Цветкова выделены три уровня проектирования:

- уровень маршрута;
- уровень операции;
- уровень перехода.



Блок 1 – синтез принципиальной схемы; B1 – выбор принципиальной схемы;
 K1 – критерии выбора принципиальной схемы; Блок 2 – синтез маршрута;
 B2 – выбор маршрута; K2 – критерии выбора маршрута; Блок 3 – синтез
 операции;
 B3 – выбор операции; K3 – критерии выбора операции;
 Блок 4 – синтез перехода; B4 – выбор перехода;
 K4 – критерии выбора перехода; T – технолог

Схема отображает многоуровневый и итерационный процесс проектирования технологических процессов. Наиболее общие решения принимаются на первом уровне. Далее происходит оценка полученных вариантов и отбор по критерию К. Полученные варианты участвуют в принятии решения на втором уровне и так далее. При уточнении ранее принятых решений может оказаться, что эти не могут быть использованы, поэтому необходим возврат к предшествующим уровням, т.е. возникает обратная связь, необходимая для осуществления итерационных процессов. Этот метод предполагает, что дерево решений синтезируется, т. е. задано в неявном (имплицитном) виде. Однако полностью реализовать синтез решений не удастся, поэтому доля типовых решений в этом методе остается достаточно большой.

42 Выбор исходной заготовки при проектировании ТП методом синтеза

Перед тем как проектировать технологию методом синтеза, желательно спроектировать исходную заготовку (вид заготовки, ее форму и размеры). При выборе вида заготовки используются три группы параметров:

1) конструктивные параметры (форма, размеры и материал детали);

2) экономические (например, объем выпуска: чем выше партия, тем прогрессивнее должна быть технология изготовления исходной заготовки);

3) технологические (эти признаки позволяют учитывать условия, заводские способы изготовления заготовки).

Выбор вида исходной заготовки выполняется на основании конструктивных признаков детали, и т.д. Чем выше партия, тем прогрессивнее должна быть технология изготовления исходной заготовки. Технологические признаки позволяют учитывать условия, заводские способы изготовления заготовки.

Форму и размеры исходной заготовки определить достаточно сложно, потому что еще не спроектированы операции и не известны припуски, снимаемые на этих операциях. Эти параметры можно определить только после проектирования первой операции механической обработки детали.

Результат проектирования вида исходной заготовки:

- код вида заготовки;
- допустимая точность размеров заготовки;
- шероховатость поверхностей заготовки.

43 Типовые схемы обработки поверхностей при проектировании ТП методом синтеза

Типовой план обработки может быть описан двумя способами: процедурным и декларативным. При процедурном способе алгоритм формирования рабочего плана обработки поверхности запрограммирован и для каждого конструктивного элемента из библиотеки элементов создается свой программный модуль. Такой подход позволяет достаточно быстро проектировать рабочий план операции. Однако САПР ТП, основанная на таком подходе обладает плохими адаптивными возможностями, так как изменения в типовом плане операций требуют перепрограммирования и отладки соответствующих программных модулей. Добавление новых типовых планов операций требует разработки новых программных модулей. Поэтому сопровождение САПР ТП и внедрение САПР ТП на новом предприятии требует значительных усилий со стороны программистов и технологов.

При декларативном способе хранения план обработки записывается на каком-либо не процедурном языке и заносится в базу данных или знаний. Один из возможных вариантов декларативного описания типовых планов операций основан на использовании табличных алгоритмов.

Другой способ записи типовых планов операций основан на использовании системы моделирования технологических процессов и записи типовых планов операций как части ТП, у которой роль операций играют этапы. Кроме того, для каждого перехода записываются правила его выбора.

Декларативный подход позволяет уменьшить объем программ, используемых для формирования рабочих планов операций, и позволяет достаточно простыми средствами осуществлять технологам доступ к базе данных (знаний) для корректировки или ввода нового типового плана операций. Программисты при этом не нужны. Таким образом, декларативный подход обладает высокими адаптивными свойствами. Недостатком подхода является относительно невысокое быстроедействие модулей, формирующих рабочие планы операций.

В настоящее время декларативный подход получил наибольшее распространение.

44 Формирование и упорядочение укрупненных операций при проектировании ТП методом синтеза

Каждый k -этап процесса может быть выражен через множество $\mathcal{E}P_k$ переходов, в которых он встречается:

$$\mathcal{E}P_k = \{p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_s\}.$$

Введем понятия «однородные переходы» и «укрупненные операции».

Однородные переходы – это переходы, обрабатываемые на одной группе оборудования.

В соответствии с введенными определениями каждое множество $\mathcal{E}P_k$ разделяется на подмножества, содержащие лишь однородные переходы.

Укрупненная операция (УО) – это множество, содержащее только однородные переходы.

Таким образом осуществляется переход $\mathcal{E}P_k \rightarrow \mathcal{E}P_k'$, где $\mathcal{E}P_k' = \{UO_1, \dots, UO_t\}$.

Для того чтобы полностью определить структуру процесса необходимо для каждого этапа упорядочить укрупненные операции, т. е. определить последовательность их выполнения. Для определения последовательности обработки поверхностей введем понятие «ранг поверхности».

Ранг поверхности – это понятие, определяющее способ образования поверхности детали.

Нулевым рангом обладают поверхности, которые образуют основную форму детали (обычно выпуклую оболочку).

Первым рангом обладают поверхности, которые образованы отсечением части пространства от поверхности «0» ранга.

Вторым рангом обладают поверхности, которые образованы отсечением части пространства от поверхности 1 ранга.

Третий и далее ранги определяются по индукции на основании выше приведенных определений.

Выдвигается следующая гипотеза: *поверхности всегда можно обработать в порядке возрастания их ранга.*

Исходя из данной гипотезы, упорядочение УО выполняется следующим образом. Для каждой k -й укрупненной операции из тех поверхностей, которые обрабатываются на данной операции, находится поверхность с минимальным рангом $r_{\min, k}$, т. е. выполняется переход $УО_k \rightarrow r_{\min, k}$. Далее выполняется упорядочение УО в порядке возрастания их минимальных рангов. Таким образом, получается маршрут как кортеж укрупненных операций:

$$M = \langle УО_1, УО_2, \dots, УО_j, \dots, УО_t \rangle.$$

45 Общая постановка задачи разработки оптимальных технологических процессов

В качестве критерия оптимизации при технологическом проектировании обычно используется себестоимость $C(T)$ изготовления детали по технологическому процессу T . Оптимальным $T_{\text{опт}}$ называется вариант технологического процесса, имеющий минимальную величину C :

$$C(T_{\text{опт}}) = \min C(T);$$

$$T \text{ принадлежит } MT,$$

где MT – множество допустимых вариантов технологических процессов.

Множество MT допустимых вариантов является очень большим (сотни и тысячи возможных вариантов), поэтому задача оптимизации является весьма трудоемкой и сложной. Технолог физически не может спроектировать такое количество вариантов. Поэтому разработка технологических процессов носит субъективный характер и качество спроектированных технологических процессов зависит от опыта и квалификации технолога, который их разработал. Так как от качества технологических процессов во многом зависит прибыль предприятия, то задача разработки оптимальных ТП является весьма актуальной.

Система проектирования ТП имеет многоуровневый характер, поэтому различают *три уровня оптимизации*:

- уровень маршрута;
- уровень операции;
- уровень перехода.

Оптимизация операций осуществляется на основе использования оптимизированных переходов, а оптимизация процесса в целом (уровень маршрута) выполняется на основе оптимизированных операций. При такой иерархической оптимизации оптимизация на заданном уровне имеет глобальный характер по отношению к более низкому уровню и локальный характер по отношению к более высокому уровню.

Будем различать два вида оптимизации:

- структурная оптимизация;
- параметрическая оптимизация.

Оптимизация на уровне маршрута и операции является структурной, так как связана в основном с выбором структуры процесса или операции, в то же время оптимизация на уровне перехода является параметрической, так как достигается путем варьирования параметрами перехода. Например, оптимальные режимы резания достигаются путем варьирования подачей, скоростью резания и припусками.

46 Поисковые методы оптимизации, используемые при разработке технологии

Множество MT допустимых вариантов является очень большим и может быть *задано* не аналитически, а *алгоритмически*, т. е. в виде правил, имеющих как формальный, так и не формальный характер, поэтому возникают сложности с применением различных методов оптимизации. При структурной оптимизации наиболее общими методами оптимизации являются поисковые методы. При параметрической оптимизации могут быть применены известные методы линейного и нелинейного программирования.

Поисковые методы оптимизации используются потому что не накладывают особых ограничений на критерий оптимизации и область существования решений. Суть оптимизации заключается в нахождении последовательности вариантов технологических процессов:

$$T_1, \dots, T_i, \dots, T_n;$$

где каждый последующий вариант предпочтительнее предыдущего, т. е. $C(T_i) > C(T_{i+1})$. В пределе указанная последовательность должна сходиться к достаточно малой окрестности

решения, т. е. варианту, близкому к оптимальному. Наиболее часто применяют следующие *поисковые методы оптимизации*:

- метод случайного поиска;
- метод регулярного поиска;
- метод направленного поиска.

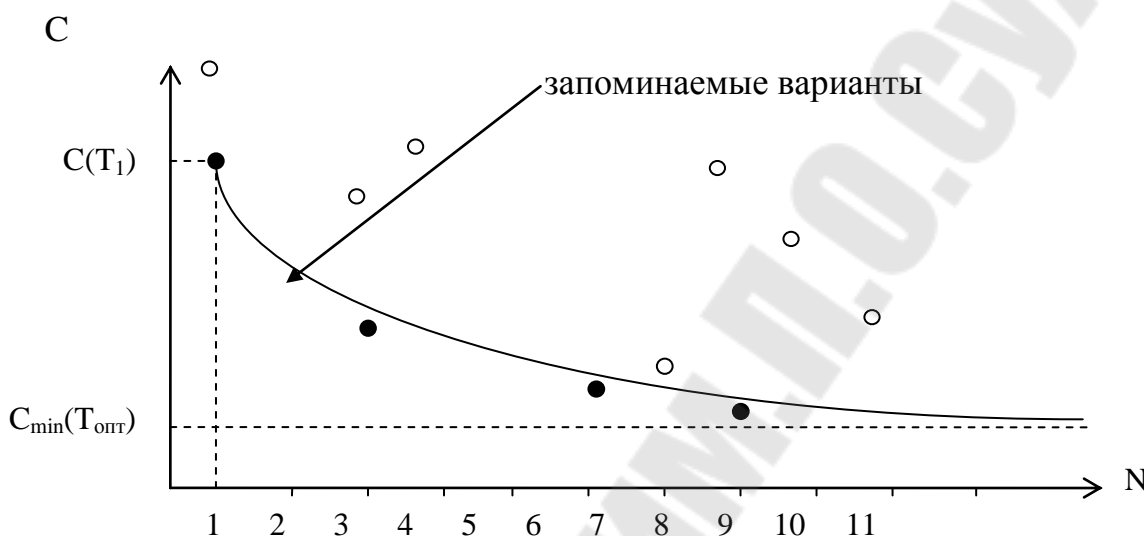


Рисунок иллюстрирует выбор оптимального варианта, из N рассматриваемых, методом случайного поиска. Если провести усредненную кривую через точки для отобранных вариантов, то кривая себестоимости постепенно приближается к оптимальному в заданных условиях значению себестоимости процесса.

47 Направления сокращения вариантности проектируемых технологических процессов

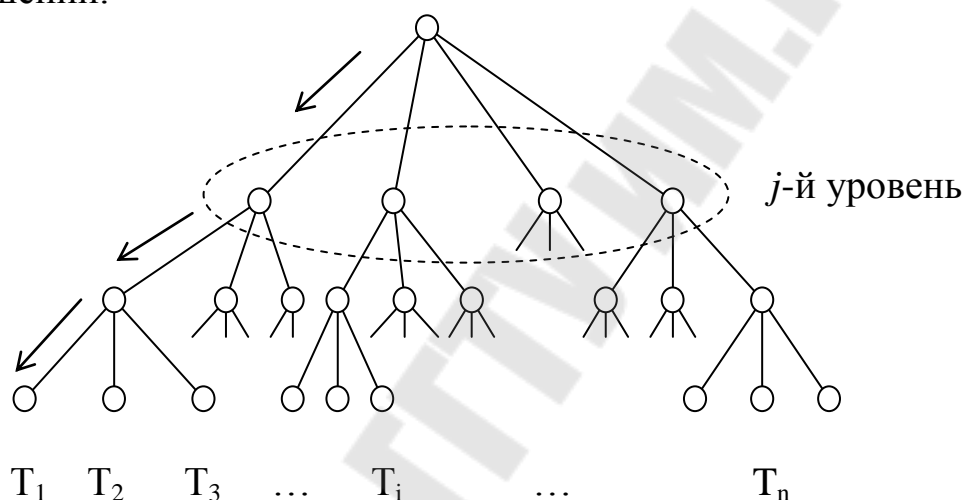
Сложность применения алгоритмов случайного поиска заключается в большой вариантности технологических процессов, что в сочетании с высокой стоимостью машинного времени и сложностью алгоритмов проектирования не дает возможность просчитать большое количество вариантов и, следовательно, окончательный вариант будет далеко не оптимальным. Неформальный характер принятия, особенно при проектировании структуры процесса, не позволяет автоматически проектировать каждый вариант технологического процесса, поэтому требуется вмешательство технолога для оперативного принятия решений.

В настоящее время используются следующие *направления сокращения вариантности* проектируемых процессов:

- типизация технологических решений;
- изменение стратегии поиска;
- усиление режима диалога.

Типизация технологических решений, применительно к условиям предприятия, позволяет резко сократить количество генерируемых вариантов за счет использования лишь вариантов наиболее вероятных и прогрессивных для данного предприятия. Чем выше типизация решений, тем легче генерацию решений заменить на выбор решений и, следовательно, повысить быстродействие системы проектирования.

При использовании метода случайного поиска обычно применяется *стратегия поиска*, которую можно назвать «*сначала вглубь, а затем вширь*». Для этой стратегии характерно то, что каждый вариант рассчитывается до конца (движение вглубь) независимо от того, будет ли он использоваться в будущем. Лишь после этого осуществляется переход к варианту (движение вширь). Графически процесс проиллюстрирован на рисунке, отражающем структуру дерева решений.



При использовании метода случайного поиска принятие решения на каком-либо уровне (выбор вершины на j -ом уровне дерева решений) выполняется случайным образом. Следовательно, и вариант T_j получается случайным образом.

Другой стратегией является *стратегия «сначала вширь, а затем вглубь»*. При этой стратегии на каждом уровне дерева решения выполняется оценка полученных решений, выбор лучшего решения и переход на следующий нижний уровень. Сложность применения этой методики заключается в том, что обычно невозможна точная оценка полученных на j -ом уровне решений. Используя, приближенные и укрупненные оценки можно выбрать не одно решение, а несколько. На следующем уровне происходит уточнение отобранных решений с последующей уже более точной оценкой. Варианты решения, не отвечающие оценочным критериям, отбрасываются. Таким образом, осуществляется направленный поиск варианта, и первый найденный вариант должен быть близок к оптимальному. Однако из-за

приближенных оценок область оптимизации расплывается, и в нее попадают несколько вариантов технологических процессов, имеющих наилучшие оценки.

Если система оценок на каком-либо уровне слабо формализована, то необходимо вмешательство технолога в процесс автоматизированного проектирования, что дает возможность осуществления направленного поиска оптимального варианта, учитывающего, кроме того, оперативную обстановку на предприятии. При этом, однако, в процесс проектирования вносится субъективный фактор.

Использование указанных направлений позволяет сократить количество проектируемых вариантов при экономически оправданных затратах на проведение расчетов с помощью ЭВМ.

Необходимо обратить внимание на то, что главным в проблеме оптимизации технологических процессов является структурная оптимизация как наиболее сильно влияющая на критерий оптимизации $C(T)$. Варьирование структурой процесса может в несколько раз изменить себестоимость ТП. Параметрическая оптимизация носит подчиненный характер, и ее влияние на себестоимость ТП не превышает 10-20 %.

48 Основные факторы, влияющие на маршрут обработки поверхности детали

Знать маршрут обработки поверхности необходимо для последующего расчета промежуточных и общих припусков на обработку, промежуточных размеров заготовки и допусков на размеры.

Рассмотрим основные факторы, влияющие на маршрут обработки поверхности детали:

1 *Точность исходной заготовки*: чем заготовка точнее, тем меньшее число ступеней обработки потребуется для достижения требуемых чертежом точности поверхности детали.

2 *Требуемая по чертежу точность формы и размеров рассматриваемой поверхности*: чем выше требуемая точность, тем большее число ступеней ее обработки потребуется.

3 *Наличие и характер термообработки детали*. Большинство методов термической и химико-термической обработки (закалка, цементация, азотирование) связано с потерей достигнутой на предшествующих ступенях механической обработки точности формы и размеров поверхности. Поэтому наличие термообработки увеличивает число ступеней обработки ответственных поверхностей детали.

4 *Точность относительного расположения поверхностей*. В ряде случаев требуется вводить дополнительные ступени обработки для

обеспечения жестких допусков на параллельность и соосность поверхностей.

5 *Число ступеней обработки установочной базы.* Если рассматриваемая поверхность в ТП играет роль установочной базы, то число ступеней ее обработки может быть больше по сравнению с тем, которое требуется для получения заданных по чертежу точности формы и размеров этой поверхности. Обычно базирующие поверхности с самого начала обрабатываются точно, а перед каждым новым этапом и после термообработки производится обновление баз.

6 *Требования к качеству поверхностного слоя данной поверхности.* В определенных случаях метод окончательной обработки, используемый для получения размера в пределах заданного по чертежу допуска, не обеспечивает заданного качества поверхностного слоя (по шероховатости, физико-механическим свойствам). Тогда вводят еще одну-две ступени обработки – отделочные или упрочняющие операции (полирование, хонингование, суперфиниширование, алмазное выглаживание и т.п.).

49 Определение вариантов обработки поверхности с применением графов

Маршрут обработки поверхности назначают на основании технических требований чертежа детали и чертежа заготовки. Ориентируясь на таблицы точности и качества поверхностных слоев при обработке и учитывая конфигурацию обрабатываемой поверхности, материал, массу и другие факторы, устанавливают метод окончательной обработки. При известном способе получения заготовки определяют первоначальный метод обработки. Выбрав окончательный и первый методы, назначают промежуточные. При этом возможны несколько видов обработки примерно с одинаковыми показателями. Такие виды обработки объединены в одну стадию. Для элементарных поверхностей обычно стадия обработки совпадает с операцией или переходом.

Требуемые по чертежу точность и качество поверхности можно получить обработкой по различным маршрутам. Для их описания наиболее удобно использовать теорию графов. В графе вершины соответствуют кодам операций с характеристиками точности, шероховатости поверхности, и себестоимости операции, а ребра – последовательности операций.

Для каждого типа элементарной поверхности существует различное число маршрутов обработки.

Математическим представлением графов возможных моделей операций является матричная форма, столбцам и строкам матрицы соответствуют вершины графа.

50 Выбор оптимального маршрута обработки поверхности

Число вариантов обработки при выборе оптимального маршрута обработки поверхности можно уменьшить с учетом следующих технологических правил:

1 Если обрабатываются цветные металлы и сплавы, то абразивные методы (шлифование, резьбошлифование) не используются.

2 При диаметре отверстия $D < 2$ мм растачивание исключается, при $L/D < 1$ (L – длина отверстия) развертывание нецелесообразно.

3 На этапе полуступенчатой обработки снятие припуска лезвийной обработкой (точение, фрезерование и т.п.) по сравнению с абразивной требует меньшего числа ходов, поэтому нецелесообразно использовать шлифование.

4 Если материал имеет твердость $HRC > 40$, рекомендуется использовать шлифование.

5 С целью снижения погрешности обработки и времени на переустановку заготовки целесообразна обработка на одном станке за несколько переходов.

6 Жесткость и конфигурация заготовки ограничивают применение некоторых вариантов обработки.

7 Необходимость обработки данной поверхности совместно с другими для достижения большей точности их взаимного расположения предопределяет метод обработки.

В качестве критериев при выборе оптимального маршрута обработки поверхности используются:

1 минимальный общий припуск для всех выбранных стадий обработки;

2 минимальная трудоемкость варианта маршрута по суммарному основному времени обработки.

Более точно маршрут выбирается при сравнении суммарной себестоимости обработки всей детали.

Для оптимизации в процессе проектирования ТП применяется метод перебора.

Перебор состоит в определении критерия оптимизации для конечного множества вариантов и выбора варианта с минимальным значением критерия (припуска или себестоимости). Значения критериев рассчитываются с использованием справочно-нормативной информации, по эмпирическим уравнениям.

51 Понятие о разработке принципиальной схемы технологического процесса

Для разработки принципиальной схемы необходимо:

1 в будущей САПР ТП сформировать перечень типовых этапов обработки для группы деталей в определенных условиях производства. Для каждого этапа определяется формализованное условие выбора для обработки поверхностей текущей детали или всей детали;

2 при проектировании текущего ТП выбрать этапы обработки текущей детали из перечня этапов в зависимости от характеристик детали.

Исходными данными для разработки ПС: оптимальные маршруты обработки отдельных поверхностей, базовая, руководящая и справочная информация по проектированию ТП.

52 Формирование перечня этапов обработки

Установление рационального состава типовых этапов обработки для деталей различных классов является сложной задачей. Здесь необходимо руководствоваться общей рекомендацией организационно-технологического характера: опыт автоматизированного проектирования ТП показывает, что число этапов должно быть минимально возможным, чтобы в общем объеме информации не потерялись и не нивелировались главные и второстепенные вопросы обработки деталей, но в то же время достаточно большим, чтобы учесть все особенности обработки деталей.

При формировании этапов обработки следует учитывать технологические особенности обработки отдельных поверхностей, которые можно рассматривать как две группы: технологически простые и технологически сложные поверхности.

Технологически простые – поверхности деталей, для которых применяются только методы механической обработки. Технологически сложные – поверхности деталей, при формировании которых наряду с механической обработкой применяются термические, гальванические и другие методы обработки или покрытия поверхности.

Для повышения адаптивности САПР ТП, предложено при формировании рационального состава этапов обработки рассматривать приоритетные и варианты стадии и этапы обработки.

Если при назначении этапа обработки руководствуются объективными техническими критериями, инструкциями, рекомендациями, статистическими данными, а процесс принятия решения носит алгоритмический характер, то такая реализация конкретного этапа будет приоритетной. При вариантной реализации

технолог руководствуется субъективными соображениями, указаниями руководства и т.д., а принятое решение можно считать «волевым». Следует отметить, что приоритетная реализация этапов характерна для конкретной, как правило, одной стадии обработки, а вариантная – для ряда близких по характеру стадий.

Синтез перечня этапов обработки относится к трудно формализуемым задачам и разрабатывается с использованием диалогового режима работы на ЭВМ. Для представления перечня удобным средством являются фреймы (комплексные таблицы) с условиями выбора.

53 Выбор этапов обработки

Задача выбора этапов обработки аналогична задаче определения маршрута обработки детали на основе типизации. Для выбора этапов обработки детали необходимо установить определенный состав условий и критериев (признаков) для функционирования каждого этапа в принципиальной схеме обработки текущей детали.

Классификационные признаки подразделяются на следующие группы: конструктивно-технологические признаки деталей общего назначения (точность, шероховатость поверхностей, материал); конструкторско-технологические признаки особенностей формирования заготовок; приведенные величины припусков; сведения о жесткости заготовки; сведения о твердости, прочности заготовки.

Выявленный состав признаков и условий выбора этапов позволяет выбрать большое число вариантов возможных решений. Однако они в значительной степени сокращаются в случае алгоритмического выбора решений. В то же время введение условий, определяемых «волевым решением», дает возможность учесть все многообразие особенностей, присущих конкретному производству.

Для построения перечня этапов необходимо объединить набор технологических решений в виде типовых этапов с условиями их функционирования. Сравнивая конкретные признаки, характеризующие анализируемую деталь, с условиями выбора типовых этапов в перечне получают принципиальную схему ТП конкретной детали. Эту операцию обычно выполняют с помощью комплексных таблиц решений.

Результатом поэтапной проверки выполнения условий для текущей детали и выбора этапов является принципиальная схема ТП с указанием номера, наименования этапа, номеров обрабатываемых поверхностей с их характеристиками точности и шероховатости на каждом этапе.

54 Уточнение методов обработки и выбор оборудования

Выбор методов обработки и типа оборудования определяется условиями проектирования ТП. Если ТП разрабатывается при проектировании нового цеха или завода, технолог может выбирать любые оптимальные по экономическим критериям виды обработки и оборудования. При заводской разработке ТП технолог обязан исходить из условия использования имеющегося в цехе (на участке) оборудования.

Для решения вопроса окончательного выбора методов обработки и оборудования необходимо установить *технологические комплексы*, т.е. группы поверхностей, которые можно обрабатывать за одну операцию и в одном установе. Во многих случаях вопрос о формировании комплексов решается с учетом конфигурации детали, назначения и формы поверхностей. Поверхности деталей – тел вращения (валы, втулки, диски и т.д.) – разделяются, как правило, на два технологических комплекса с тем, чтобы поверхности каждого комплекса можно было обрабатывать при одном установе с одной и другой стороны от поверхности с максимальным диаметром. Гораздо большее число комплексов поверхностей приходится формировать при обработке корпусных деталей – оно будет значительным при использовании универсальных станков и может быть уменьшено при использовании современного оборудования. Так, станки типа обрабатывающего центра с поворотным столом позволяют вести обработку поверхностей различной формы, расположенных на всех сторонах заготовки при одном установе.

Комплексообразование (объединение поверхностей в технологические комплексы для обработки) особенно важно для финишных ступеней обработки, так как обработка поверхностей при одном установе позволяет наиболее простым и экономичным способом обеспечить требуемую по чертежу точность взаимного расположения поверхностей (по параллельности, перпендикулярности, соосности).

Известно, что одинаковые точности обработки и качество обработанной поверхности могут быть достигнуты различными способами. Поэтому сначала подбирают для обработки каждой поверхности или комплекса поверхностей на каждом этапе несколько возможных методов обработки и оборудования, а затем сопоставляют варианты по производительности и технологической себестоимости.

При отборе вариантов целесообразно использовать справочные и нормативные материалы по трудоемкости и себестоимости отдельных методов обработки.

Основными факторами, влияющими на *выбор оборудования*, являются:

- конструкция детали, ее габаритные размеры и другие характеристики (например, обрабатываемость);
- требуемая точность обработки;
- вид заготовки (штучная, из прутка);
- объем выпуска изделий, тип производства, размер партии заготовок.

Выбор оборудования выполняется в три шага:

- 1 выбор группы станка (токарный, фрезерный и т.д. – отбирается сопоставлением вариантов обработки, как было отмечено выше);
- 2 выбор класса станка (универсальный или с программным управлением);
- 3 выбор типоразмера станка (модели).

Эффективность применения станков с ЧПУ выражается в повышении точности и производительности обработки, а также в значительном сокращении потребности в высококвалифицированных станочниках.

Выбирая типоразмер станка, руководствуются принципами соответствия:

- 1 рабочей зоны станка конфигурации и габаритным размерам детали (например, токарную обработку деталей типа дисков, колец малой длины и большого диаметра выгоднее и удобнее выполнять не на токарно-винторезном, а на токарно-лобовом или на токарно-карусельном станке);
- 2 точностных возможностей станка заданной по технологии точности обработки заготовки;
- 3 мощности, жесткости и кинематических возможностей станка оптимальным режимам резания;
- 4 производительности станка заданной программе выпуска деталей.

55 Выбор технологических баз и типа приспособления

Выбор технологических баз и типа приспособления с учетом требований точности взаимного расположения поверхностей является одной из самых трудноформализуемых задач автоматизированного проектирования. Поэтому при разработке САПР единичных технологических процессов для повышения их надежности часто используют локализацию системы, т.е. сужение номенклатуры деталей, охватываемых системой. Достаточно надежные алгоритмы можно создать на детали типа тела вращения (валы, втулки, шестерни, муфты и т.д.). При изготовлении деталей этого типа перечень возможных

способов базирования небольшой (патрон, центра, патрон с поджимом задним центром, люнеты), что и упрощает алгоритмы. Решение данной задачи для деталей сложной конфигурации целесообразно выполнять в диалоговом режиме проектирования.

Когда выполнено назначение оборудования, то следующей задачей является назначение технологических баз. Эта задача достаточно сложна и слабо формализована. Рассмотрим одну из возможных методик автоматизированного назначения баз. По этой методике назначение баз выполняется в три этапа:

1. Геометрический анализ.
2. Анализ детали (заготовки), как твердого тела.
3. Размерный анализ.

Первый этап

Геометрический анализ заключается в том, что на основе общих положений теории базирования определяется возможность для необрабатываемых на операции поверхностей быть выбранными в качестве базы. Для этого отбирают необрабатываемые поверхности и определяют, какой комплект этих поверхностей лишает тело шести степеней свободы. Матрица степеней свободы может быть определена в виде таблицы.

Матрица степеней свободы

Оси	X	Y	Z
L – перемещение вдоль осей			
α – поворот вокруг оси			

В каждый элемент таблицы заносится либо 0 (поверхность не лишается заданной степени свободы), либо 1 (поверхность лишается заданной степени свободы). Вместо матрицы может быть использован код этой матрицы, который создается следующим образом: в нижней строке матрицы вместо 1 записывается 2 и выполняется сложение по строкам матрицы. Таким образом, получается суммарный код матрицы, состоящий из трех цифр.

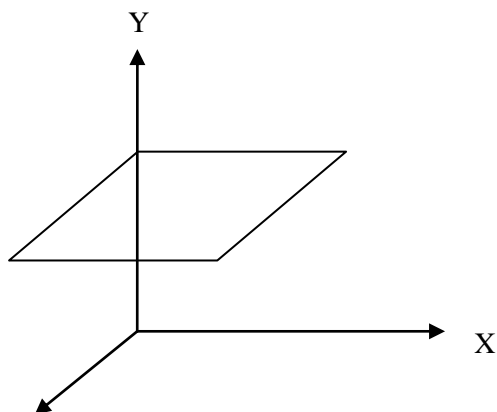
Например, матрица

1 0 1

1 1 0

имеет код, равный 321.

На рисунке показана плоскость, устанавливаемая на три точки и перпендикулярная оси ОУ, и соответствующая ей матрица степеней свободы



Пу			
L	0	1	0
α	1	0	1

ПТ _у			
L	0	0	0
α	0	1	0

Если происходит базирование по нескольким поверхностям, то для того, чтобы установить, сколько степеней свободы лишена деталь, необходимо выполнить сложение матриц каждой базы. Заготовка считается полностью установленной, если она лишена всех шести степеней свободы, т. е. матрица степеней свободы является единичной.

Второй этап

На втором этапе заготовка рассматривается как некоторое твердое тело, и выполняется анализ отдельных поверхностей, выбранных за базу. На основе анализа определяют могут ли они использоваться в этой роли. Поверхность может иметь малую протяженность или заготовка в этом месте является нежесткой. Особенно это касается поверхностей, которые одновременно являются базами и поверхностями зажима (для трехкулачкового патрона, цанг, центровых оправок).

Третий этап

На этом этапе проводится оценка способов простановки размеров у заготовки и анализ размеров детали. Исходя из принципа совпадения конструкторских и технологических баз из отобранных ранее комплектов баз отбирают комплекты, которые связаны размерами с обрабатываемыми поверхностями.

56 Формирование последовательности операций

При решении задачи выбора технологических баз для групп поверхностей и установлении последовательности обработки поверхностей определены и основные структурные элементы ТП механической обработки. Так, при выборе баз формируют группы совместно обрабатываемых поверхностей, исходя из их свойств и взаимного расположения. Эти группы являются исходным множеством для определения состава операций.

Последовательность операций определяется порядком баз и улучшением качества для групп операций, имеющих одни и те же базы. Порядок обработки устанавливается исходя из требований организации ТП, например требования максимально возможной концентрации операций на одном участке по типам применяемого оборудования.

Полученную последовательность операций можно уточнить, используя следующие рекомендации (о некоторых из них было сказано выше):

1 В первую очередь следует обрабатывать поверхности, принятые за чистые (обработанные) технологические базы.

2 Последовательность обработки зависит от простановки размеров. Вначале нужно обрабатывать ту поверхность, относительно которой на чертеже координировано большее число других поверхностей.

3 При невысокой точности исходной заготовки сначала следует обрабатывать те поверхности, с которых для раннего выявления литейных и других дефектов, например раковин, включений, трещин и отсеивания брака, требуется удалить небольшой слой материала.

4 Последовательность операций необходимо устанавливать в зависимости от требуемой точности поверхности: чем точнее должна быть поверхность, тем позднее ее необходимо обрабатывать, так как обработка каждой последующей поверхности может вызывать искажение ранее обработанной. Снятие каждого слоя металла приводит к перераспределению остаточных напряжений, что и вызывает деформацию заготовки. Последней нужно обрабатывать ту поверхность, которая является наиболее точной и ответственной.

5 Операции обработки поверхностей, имеющих второстепенное значение и не влияющих на точность основных параметров детали (сверление мелких отверстий, снятие фасок, прорезка канавок и т.п.), следует выполнять в конце ТП, но до операций окончательной обработки ответственных поверхностей. В конец маршрута желательно также вносить обработку легкоповреждаемых поверхностей, к которым относят наружные резьбы, наружные зубчатые и шлицевые поверхности.

6 Необходимо учитывать возможное сокращение путей транспортировки деталей.

После всех уточнений последовательности операций получим условный маршрут обработки, состоящий из операций механообработки, термической и химико-термической обработки. Далее этот перечень необходимо дополнить слесарными, промывочными, контрольными и транспортировочными операциями.

57 Формирование структуры операций

Задача формирования структуры операции состоит в том, чтобы определить оптимальную последовательность переходов.

Для структуры технологической операции так же, как и для ТП, характерна многовариантность, которая предполагает существование оптимального решения. Синтез оптимальной структуры включает в себя определение вариантов последовательности переходов и расчет параметров переходов, необходимых для выбора оптимального варианта последовательности. Здесь задача структурной оптимизации решается в три этапа:

- создание (синтез) очередного варианта последовательности переходов;
- анализ (оценка) варианта;
- принятие решения о замене ранее выбранного варианта на новый или о прекращении синтеза новых вариантов.

Для оценки уровня создаваемых вариантов вводится целевая функция и формируется критерий оптимальности, т.е. правило предпочтения одного варианта другому.

Наиболее часто задачу определения оптимальной последовательности переходов решают при обработке ступенчатых поверхностей детали (плоских, цилиндрических, наружных и внутренних). Например, при черновой токарной обработке ступенчатых валов, когда в качестве заготовки принимается прокат и каждая ступень вала имеет различный по величине напуск. Анализ возможных вариантов выполняется с помощью целевой функции, учитывающей величину перемещения инструмента.

Другим характерным примером оптимизации структуры операции является обработка (сверление, зенкерование, развертывание) нескольких отверстий в корпусной детали. Здесь необходимо отыскать маршрут наименьшей протяженности между отверстиями.

Для решения указанных задач обработки ступенчатых поверхностей и обработка отверстий используется метод динамического программирования.

58 Расчет технологических размеров

Исходной информацией для расчета технологических размеров является:

- маршрут обработки детали (перечень операций);
- перечень переходов в операциях;

- размеры, допуски, технические требования на поверхности детали по чертежу;
- вид заготовки и допуски на его размеры; технологические комплекты баз в операциях.

На данной стадии необходимо определить технологические размеры и допуски, технические требования на форму и взаимное расположение поверхностей, размеры заготовки.

Размерный анализ является проверкой оптимальности всех ранее принятых решений, включая и схему простановки размеров конструктором. При выявлении необходимости значительного уменьшения допусков или невозможности их достижения по сравнению с чертежными пересматриваются ранее принятые решения по:

- комплексированию поверхностей в операциях;
- выбору технологических баз;
- выбору последовательности операций и переходов.

То есть, возможно, что потребуются полный пересмотр всей заранее выполненной работы по проектированию ТП. Расчет размеров – проверка структуры спроектированного ТП, и ошибки на данной стадии обходятся очень дорого, что указывает на ответственность стадии.

Установление технологических размеров и пересчет допусков производится на основе расчета технологических размерных цепей.

При размерном анализе выявляют непосредственно невыполняемые размеры, а затем формируют размерные цепи.

При размерном анализе встречаются две группы задач: проверочные и проектные.

Проверочные задачи заключаются в определении характеристик замыкающего звена по известным характеристикам составляющих звеньев.

Проектные задачи заключаются в определении характеристик одного или нескольких составляющих звеньев по известным характеристикам замыкающего звена.

Для расчета размерных цепей применяют два метода: метод максимума-минимума и вероятностный.

При расчете предельных размеров замыкающего звена методом максимума-минимума предполагают, что в цепи возможно наихудшее сочетание предельных размеров составляющих звеньев: увеличивающие звенья имеют наибольшие размеры, уменьшающие – наименьшие.

При использовании вероятностного метода определяют «условное» поле замыкающего звена, содержащее менее 100% возможных случаев. При реализации цепи появляется некоторая

вероятность того, что значения замыкающего звена окажутся вне допустимых пределов.

Расчет технологических размеров выполняется в следующем порядке:

- 1 Строят размерную схему технологического процесса.
- 2 Выявляют замыкающие звенья (чертежные размеры и припуски на обработку) и относительно каждого замыкающего звена строят размерную цепь.
- 3 Составляют уравнения замыкающих звеньев.
- 4 Решают уравнения замыкающих звеньев.

Построение размерных цепей и решение уравнений начинается с конца ТП.

Задача размерного анализа с позиции теории автоматизированного проектирования отнесена к группе расчетных для решения уравнений. Выявление звеньев и построение схемы выполняются в диалоговом режиме.

59 Понятие о проектировании операций

Проектирование операций ТП – пятая стадия проектирования ТП методом синтеза.

Для проектирования операции необходимо знать следующее: маршрут обработки детали, оборудование, схему базирования и закрепления заготовки, тип приспособления, структуру операций, размеры, допуски, припуски на обработку, а также темп работы, если операция проектируется для поточной линии.

На данной стадии:

- выбирают типоразмер приспособления (или дают заявку на его проектирование);
- выбирают СОЖ;
- дополняют условный маршрут обработки до технологического маршрута.

Проектирование переходов выделен в отдельную стадию, поэтому данная стадия включает небольшой объем работы и относится к стадии параметрического синтеза. Результат стадии – полный технологический маршрут, применяемое приспособление и СОЖ по операциям.

Проектируя технологическую операцию, стремятся к уменьшению штучного времени $t_{шт}$ (время на изготовление одной детали). При поточном методе обработки штучное время увязывают с темпом работы, обеспечивая заданную производительность поточной линии.

Вспомогательное время t_e (время на осуществление действий, создающих возможность выполнения основной работы) сокращают за счет уменьшения времени вспомогательных ходов станка,

рационального построения процесса обработки, а также уменьшения времени на установку и снятие заготовок путем использования приспособлений с быстродействующими зажимными устройствами.

60 Выбор обозначения приспособления и СОЖ

Приспособления – наиболее сложная и трудоемкая в изготовлении часть технологической оснастки. По целевому назначению станочные приспособления делят:

1 Станочные приспособления для установки и закрепления заготовок. В зависимости от вида механической обработки подразделяют на приспособления для токарных, сверлильных, фрезерных, шлифовальных, многоцелевых и других станков. Эти приспособления осуществляют связь заготовки со станком.

2 Приспособления для захвата, перемещения и переворота тяжелых заготовок, а в автоматизированном производстве и ГПС и легких заготовок, и собираемых изделий. Приспособления являются рабочими органами промышленных роботов.

Предварительно тип приспособления выбран при выборе технологических баз. При проектировании операции определяется его обозначение из существующего ряда. Например, заготовку необходимо обработать в патроне – тип приспособления известен, надо определить обозначение патрона в зависимости от станка и размеров заготовки. Эта задача формализуема и ее можно решить с помощью таблиц решений с ограниченными входами. При разработке алгоритма надо предусмотреть случай, когда требуемого размера нет или предполагается специальное приспособление. В этом случае выдается заявка на проектирование.

Выбор СОЖ также относится к несложным задачам, и в зависимости от материала детали, вида операции можно разработать надежные алгоритмы.

61 Дополнение условного маршрута обработки до полного маршрута

В результате уточнения структуры и последовательности операций формируется условный маршрут изготовления детали в следующем виде: номер этапа обработки, номер и наименование операции, комплект баз и переходов, входящих в данную операцию. Для получения полного технологического маршрута условный маршрут обработки необходимо дополнить слесарными, контрольными, промывочными и транспортировочными операциями.

Слесарные операции (вспомогательные механические операции по снятию заусенцев, зачистке и притуплению кромок) должны быть введены в следующих случаях:

- если чертежом задано притупление острых кромок;
- после методов обработки, образующих заусенцы (фрезерование, долбление, сверление);
- перед операциями термической и гальванической обработки;
- после операций термической обработки.

Контрольные операции выполняются перед термическими и зубообрабатывающими операциями, при переходе обработки в другой цех и в конце ТП.

Промывочные операции, как правило, назначаются перед контрольными операциями. Транспортировочные – когда обработка детали производится в другом цехе.

62 Понятие о проектировании переходов

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

Исходная информация: маршрут обработки детали, оборудование, приспособления, последовательность переходов в операциях, размеры, допуски, припуски на обработку. На данной стадии:

- устанавливают возможность совмещения переходов во времени;
- уточняют содержание операции, намеченное ранее при проектировании ТП в пределах этапа и подтвержденное размерным анализом;
- выбирают режущий и измерительный инструмент;
- определяют режимы обработки;
- определяют норму времени;
- формируют описание технологического перехода.

В результате выполнения данной стадии получают маршрутную и операционные карты.

Объем 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 технологического процесса и выходных (входных) заготовок.

В общем случае входные данные можно разделить на три группы: геометрические данные, технологические и экономические.

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

- параметры обрабатываемых на переходе 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 и приспособления;
- код модели оборудования или сама модель.

Кроме того, код материала может быть выбран из параметрической модели выходной заготовки.

К *экономическим* данным относится размер партии или годовой объем выпуска деталей. Эти данные обычно вводятся в параметрическую модель процесса в начале проектирования технологического процесса.

В процессе проектирования перехода необходимо иметь быстрый и удобный доступ к технологическим базам данных и знаний.

Состав выходных данных зависит от выбранной степени детализации оформления технологического процесса.

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 инструмента
- стоимость выполнения перехода.

Геометрические данные:

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

Как и при проектировании операций, критерием оптимизации при проектировании переходов является время обработки. Норму времени сокращают, уменьшая ее составляющие и совмещая время выполнения технологических переходов.

63 Выбор режущего и измерительного инструмента

Выбор режущих инструментов при оснащении ТП производят с учетом: вида станка; метода обработки, режимов и условий работы; материала заготовки, ее размеров и конфигурации; требуемых точности обработки и шероховатости поверхностей; типа производства; заданных объема выпуска деталей и производительности обработки; стоимости инструмента и затрат на его эксплуатацию.

Согласно методике поиска технологического оснащения, назначение режущего инструмента происходит в три этапа: *выбор вида режущего инструмента*, его *типоразмера* и *определение возможности использования найденного типоразмера инструмента* для заданной ситуации.

На *первом этапе* выполняется выбор вида РИ.

Исходными данными для решения этой задачи являются:

- технологические характеристики – группа оборудования по классификатору ЕСКД и код перехода согласно нормативным документам;
- характеристики заготовки – группа материала по технологическому классификатору и характеристики обрабатываемого элемента в виде предельных размеров, соответствующих каждому виду инструмента;
- экономические характеристики – размер партии.

Результатом выполнения первого этапа является код и наименование вида РИ, а также адрес набора данных с типоразмерами РИ.

На *втором этапе назначения режущего инструмента* по найденному адресу набора данных необходимо найти нужный типоразмер инструмента. Если найдено несколько типоразмеров, то выбирается типоразмер с наибольшим приоритетом. 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.

На *третьем этапе* выбранный инструмент надо проверить на возможность использования в конкретных условиях. При положительных результатах проверки третий этап обычно завершается записью

наименования инструмента в параметрическую модель заданного перехода вместе с параметрами, необходимыми для расчета режимов резания.

Для назначения измерительных средств используется соответствующая база данных. Ее формирование основано на анализе стандартов и каталогов средств измерения размеров, которые имеются на конкретном предприятии. В первую очередь, для занесения в базу данных отбираются те документы, которые будут использованы для задач первой очереди автоматизации проектирования технологических процессов. Исходя из общей методики назначения технологического оснащения, на *первом этапе* решения задачи назначения измерительных средств составляется таблица выбора вида СИ, включающая ряд параметров. Основными из них являются: *системный номер, минимальные и максимальные изменяемые размеры, точность, количество деталей в партии, адрес набора данных, код вида инструмента* по какому-либо классификатору, а также *наименование вида измерительного средства*.

На *втором этапе* необходимо в базу данных занести типоразмеры инструмента для каждого его вида в соответствующий набор данных. Каждая запись набора параметров содержит информацию о конкретном типоразмере инструмента, включая наименование инструмента, которое заносится в технологическую карту.

64 Расчет припусков

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

– для наружных ступеней

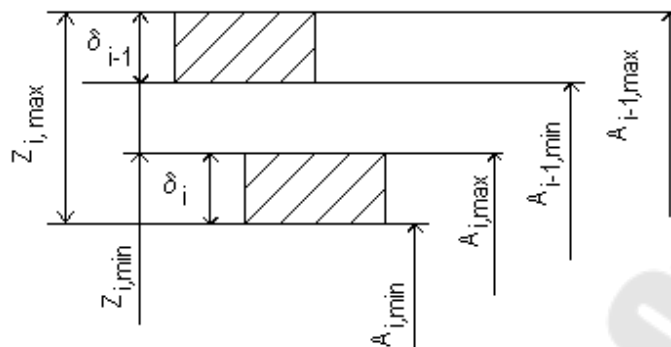
$$Z_{i, \min} = A_{i-1, \min} - A_{i, \max}$$

– для внутренних ступеней

$$Z_{i, \min} = A_{i, \min} - A_{i-1, \max}$$

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.

На рисунке показана схема графического расположения припусков и допусков



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

Как известно, в настоящее время существуют 2 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. В расчетно-аналитическом методе $Z_{i, \min}$ рассчитывается по формуле:

$$Z_{i, \min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + (\rho_{i-1}^{k1} + \varepsilon_{y,1}^{k1})^k,$$

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;

$\varepsilon_{y,i}$ – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Следовательно, исходными данными при расчете припусков являются:

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

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

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. Поэтому при автоматизированном проектировании ТП большее применение получил опытно-статистический (табличный)

метод. Этот метод проще и не содержит трудно определяемых факторов.

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.

65 Назначение измерительных средств

Для назначения измерительных средств используется соответствующая база данных. Ее формирование основано на анализе стандартов и каталогов средств измерения размеров, которые имеются на конкретном предприятии. В первую очередь, для занесения в базу данных отбираются те документы, которые будут использованы для задач первой очереди автоматизации проектирования технологических процессов. Исходя из общей методики назначения технологического оснащения, на *первом этапе* решения задачи назначения измерительных средств составляется таблица выбора вида СИ, включающая ряд параметров. Основными из них являются: *системный номер, минимальные и максимальные изменяемые размеры, точность, количество деталей в партии, адрес набора данных, код вида инструмента* по какому-либо классификатору, а также *наименование вида измерительного средства*.

На *втором этапе* необходимо в базу данных занести типоразмеры инструмента для каждого его вида в соответствующий набор данных. Каждая запись набора параметров содержит информацию о конкретном типоразмере инструмента, включая наименование инструмента, которое заносится в технологическую карту.

66 Определение режимов обработки

Определение режимов обработки относится к основной задаче параметрической оптимизации в проектировании ТП. Установленные режимы должны обеспечивать требуемое качество изделия при минимальных затратах общественного труда.

При оптимизации наиболее распространенных процессов механической обработки (точение, сверление, фрезерование) под режимами обработки понимается совокупность глубины резания t , подачи S , скорости V . Эти переменные являются управляемыми.

Один из первых подходов к параметрической оптимизации ТП касался вопроса оптимизации режимов резания методом линейного программирования. В его основе лежит построение математической модели, включающей в себя совокупность технических ограничений (режущие возможности инструмента; мощность электродвигателя привода главного движения; заданная производительность станка; наименьшая и наибольшая скорость резания и подача, допускаемые кинематикой станка; прочность и жесткость режущего инструмента; точность обработки; шероховатость обработанной поверхности) и оценочную функцию упрощенного вида, приведенных к линейному виду логарифмированием.

67 Определение нормы времени

Нормы времени устанавливаются на каждую операцию согласно следующей формуле

$$t_{\phi\delta} = t_o + t_{\hat{a}} + t_{\delta} + t_{i\delta\hat{a}} + t_i$$

где $t_{\phi\delta}$ – штучное время,

$t_{\hat{a}}$ – основное время,

$t_{\hat{a}}$ – вспомогательное время,

t_{δ} – время технического обслуживания,

$t_{i\delta\hat{a}}$ – время организационного обслуживания,

t_i – время на личные потребности.

Время $t_{\hat{a}}$ определяется по таблицам нормативов или рассчитывается по формуле

$$t_o = \frac{L_i}{s_{i\hat{e}i}} = \frac{l_{\hat{a}\delta} + l + l_{\hat{n}\delta}}{s_{i\hat{a}} \cdot n},$$

где L_i – длина пути инструмента,

$l_{\hat{a}\delta}$ – величина врезания,

l – длина обрабатываемой поверхности,

$l_{\hat{n}\delta}$ – величина перебега (схода) инструмента.

Системы автоматизированного расчета режимов резания и норм времени – одни из первых САПР технологического назначения. Расчетные задачи достаточно хорошо формализуются, в основном они могут быть отнесены к группе вычислительных задач. Информационной базой таких систем являются справочники по режимам резания и нормам времени.

68 Предпроектные исследования

На этой стадии проводится обследование организации с целью проверки готовности к автоматизации процессов проектирования. Результатом должен быть ответ на вопрос: рационально ли функционирование САПР в данной организации на текущий период или необходимо провести комплекс подготовительных работ? Для ответа на этот вопрос формируются требования к АС и разрабатывается ее концепция.

При формировании требований к АС необходимо выполнить следующие работы:

- Обследовать объект и обосновать необходимость создания системы;
- Сформировать требования пользователя к АС;
- Оформить отчет о выполненной работе и заявку на разработку тактико-технического задания.

При разработке концепции АС необходимо:

- Изучить объект;
- Провести необходимые научно-исследовательские работы;
- Разработать варианты концепции АС и выбрать вариант, удовлетворяющий требованиям пользователя;
- Оформить отчет о выполненной работе.

Практика показывает, что внедрение САПР в процесс ТПП с низким организационно-технологическим уровнем, не только не способствуют повышению эффективности, но и значительно осложняют работу на этой стадии технической подготовки производства. Необходимо отметить, что внедрение САПР будет эффективно лишь в том случае, если при ТПП имеются проблемы, причины возникновения которых можно устранить с помощью информационных технологий [33].

Весьма эффективным способом изучения указанных проблем является метод диагностического анализа, описанный в работе Петухова А.В. «Диагностический анализ на стадии предпроектного исследования». Диагностический анализ включает следующие этапы:

1. Расчленение анализируемой системы ТПП;
2. Определения нормативной и фактической трудоемкости процессов проектирования в системе ТПП;
3. Информационный анализ системы ТПП;
4. Анализ полученных результатов.

69 Техническое задание

Техническое задание (ТЗ) является исходным документом для создания САПР, который должен содержать наиболее полные исходные данные и требования. Этот документ разрабатывает организация – головной разработчик системы. Техническое задание должно содержать следующие основные разделы:

- «Наименование и область применения» – полное наименование системы и краткую характеристику области ее применения;
- «Основание для создания» – наименование директивных документов, на основании которых создается САПР;
- «Характеристика объекта проектирования» – сведения о назначении, составе, условиях применения объекта проектирования;
- «Цель и назначение» – цель создания САПР, ее назначение и критерий эффективности функционирования;
- «Характеристика процесса проектирования» – общее описание процесса проектирования; требования к входным и выходным данным, а также требования по разделению проектных процедур (операций), выполняемых с помощью неавтоматизированного и автоматизированного проектирования;
- «Требования к САПР» – требования к САПР в целом и к составу ее подсистем, к использованию в составе САПР ранее созданных подсистем и компонентов САПР и т.п.;
- «Технико-экономические показатели» – затраты на создание САПР, источники получения экономии и ожидаемую эффективность от применения САПР.

70 Эскизный проект

Эскизное проектирование является стадией выбора и обоснования вариантов для принятия окончательных решений. На этом этапе выполняются следующие работы:

- разработка предварительных проектных решений по системе и ее частям, включая предварительную разработку структуры входных и выходных данных, уточнение методов решения задач, разработку общего описания алгоритма решения задач и технико-экономическое обоснование;
- разработка документации на АС и ее части, включая пояснительную записку эскизного проекта;
- согласование и утверждение эскизного проекта.

При создании САПР стадия эскизного проектирования не является обязательной, а входящие в нее работы могут выполняться на последующей стадии.

71 Технический проект

На стадии *технического проектирования* детализируются решения, принятые на стадии эскизного проекта. На этом этапе выполняются следующие работы:

- разработка проектных решений по системе и ее частям с выявлением процесса проектирования (его алгоритма) и принятием основных технических решений по направлениям:
 - разработки структуры САПР и взаимосвязей ее с другими системами (определение состава проектных процедур и операций по подсистемам, уточнение состава подсистем и взаимосвязи между ними, разработка схемы функционирования САПР);
 - по математическому, лингвистическому, техническому, информационному и программному обеспечению САПР в целом и подсистемам с определением:
 - состава методов, математических моделей для проектных операций и процедур;
 - состава языков проектирования;
 - состава информации, объемов, способов ее организации и видов машинных носителей информации;
 - состава общего и специального программного обеспечения;
 - состава технических средств (ЭВМ, периферийных устройств и других, вычисляющих и управляющих комплексов), технико-экономических показателей САПР;
- разработка документации на АС и ее части
- разработка и оформление документации на поставку изделий для комплектования АС и (или) технических требований (технических заданий) на их разработку
- разработка заданий на проектирование в смежных частях проекта объекта автоматизации
- разработка пояснительной записки технического проекта;
- согласование и утверждение технического проекта.

72 Разработка рабочей документации

Рабочее проектирование является этапом оформления всей документации, необходимой для создания и функционирования САПР. На этом этапе выполняются следующие работы:

- разработка рабочей документации на систему и ее части;
- разработка или адаптация программ.

Затем компоненты САПР изготавливают (получают) и отлаживают. Производят монтаж, наладку и испытание комплекса технических средств автоматизации проектирования и подготавливают организацию к вводу в действие САПР.

Ввод в действие системы осуществляют после опытного функционирования и приемочных испытаний у заказчика.

73 Принципы разработки САПР

При создании САПР используются следующие принципы:

1 САПР – это человеко-машинная система, в которой для автоматизации деятельности специалистов имеется информационно-вычислительная система. Процесс проектирования должен быть организован в ней таким образом, чтобы повысить отдачу умственного труда, стимулировать его творческую активность.

2 САПР – это открытая развивающаяся система, т.е. созданный вариант системы может быть расширен. Развитие касается всех частей вычислительной системы (технической, информационной, программной) и используемых алгоритмов решения, так как возможно появление новых, более современных математических моделей и программ, а также изменение объектов проектирования.

3 САПР создается как иерархическая система, реализующая комплексный подход к автоматизации на всех уровнях проектирования. Блочный-модульный иерархический подход проектирования сохраняется при применении САПР. В систему технологического проектирования механосборочного производства обычно включают следующие подсистемы: структурное, функционально-логическое и элементное проектирование (разработка принципиальной схемы ТП, проектирование технологического маршрута, проектирование операции, разработка управляющей программы для станков с ЧПУ). В процессе развития САПР возникает необходимость обеспечения комплексного ее характера, т.е. автоматизации на всех уровнях проектирования. Иерархическое построение САПР относится не только к программному обеспечению, но и к техническим средствам (центральный вычислительный комплекс и автоматизированные рабочие места).

4 САПР представляет собой совокупность информационно-согласованных подсистем. Это означает, что обслуживание всех или большинства последовательно решаемых задач ведется информационно-согласованными программами. Плохая информационная согласованность приводит к тому, что САПР превращается в совокупность автономных подсистем.

5 САПР строится на основе максимального использования унифицированных составных частей (для уменьшения расходов на ее создание).

74 Понятие о процессе сборки изделия

Сборка – это образование разъемных или неразъемных соединений из составных частей заготовки или изделия.

Процесс сборки является заключительным этапом изготовления изделия, в значительной степени определяющим его основные эксплуатационные качества. Это связано с тем, что в процессе сборки могут возникнуть погрешности взаимного расположения деталей, существенно снижающие точность и служебные качества собираемого изделия.

Выполнение сборочных работ связано с большой затратой времени, которое составляет 25 – 40% от общей трудоемкости изготовления изделия. Следует отметить, что основная часть слесарно-сборочных работ выполняется вручную, что требует больших затрат физического труда и высокой квалификации рабочих.

Сборка может осуществляться простым соединением деталей, запрессовкой, свинчиванием, сваркой, пайкой, клепкой и склеиванием. По объёму работ сборка подразделяется на общую, объектом которой является изделие в целом, и на узловую, объектом которой является сборочная единица или узел.

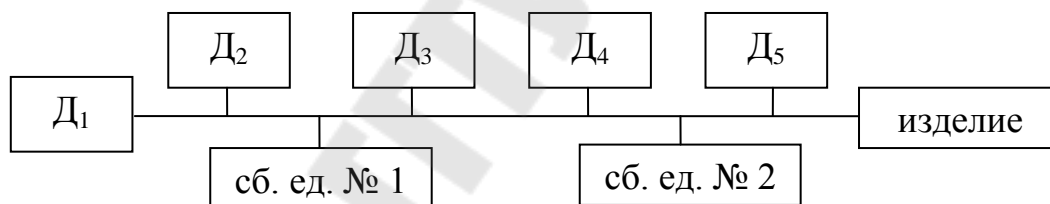
В процессе сборки необходимо обеспечить взаимное расположение деталей в пределах заданной точности. Одним из средств определения рациональных допусков является расчет и анализ размерных цепей. При расчете размерных цепей могут быть использованы следующие методы достижения точности замыкающего звена:

- полной взаимозаменяемости изделий с расчетом размерной цепи на максимум и минимум – точность замыкающего звена достигается путем включения составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений;
- неполной взаимозаменяемости изделий с расчетом по вероятностному методу – у части изделий погрешность замыкающего звена может быть за пределами допуска на сборку, возможен определенный риск несобираемости;
- групповой взаимозаменяемости (селективной сборки) – точность достигается путем включения составляющих звеньев, принадлежащих к одной из групп, на которые они предварительно рассортированы;

- пригонки – точность достигается изменением размера компенсирующего звена путем удаления слоя материала;
- регулирования – точность достигается изменением размера или положения компенсирующего звена без удаления слоя материала за счет конструкции (винтовая пара, клин, набор прокладок, передвижные втулки);
- сборки с компенсирующим материалом, вводимым в зазор между сопрягаемыми поверхностями после их установки в требуемое положение.

Последовательность сборки в основном определяется конструкцией изделия, компоновкой деталей и методом достижения требуемой точности и может быть представлена в виде технологической *схемы сборки*, являющейся условным изображением порядка комплектования изделия при сборке.

Схемы сборки позволяют наглядно представить весь технологический процесс, проверить правильность последовательности операций. На схемах каждый элемент изделия обозначается прямоугольником, в котором указываются его наименование, индекс и количество элементов.



Д₁ – базовая деталь; Д₂, ..., Д₅, сб. ед. № 1, сб. ед. № 2 – составные части изделия

Деталь или ранее собранная сборочная единица (сб. ед.), с которой начинается сборка изделия и к которой присоединяются другие детали или сборочные единицы, называется *базовой деталью* или *базовой сборочной единицей*.

Процесс сборки изображается на схеме горизонтальной линией в направлении от прямоугольника, обозначающего базовую составную часть, до прямоугольника, обозначающего готовое изделие (или сборочную единицу). Выше горизонтальной линии указываются детали, ниже – сборочные единицы. Для каждой сборочной единицы могут быть построены аналогичные схемы.

После разработки схемы сборки устанавливается состав необходимых сборочных и контрольных работ и определяется содержание технологических операций и переходов.

75 Формализация задач проектирования ТП сборки

Основной трудностью при автоматизации проектирования ТП сборки является низкий уровень обобщения предлагаемых решений по сравнению с уровнем обобщения решений задач при механической обработке.

Процесс проектирования ТП сборки направлен на решение следующих основных задач:

- 1 определение оптимальных методов и организационных форм сборки;
- 2 определение последовательности сборки;
- 3 определение необходимых средств (оборудования, оснастки, инструмента);
- 4 определение места в маршруте и состава несборочных, но входящих в ТП сборки операций (операций механической обработки, защитных покрытий, смазки, промывки);
- 5 определение необходимости контрольных операций, их места в маршруте и состава;
- 6 формирование операций;
- 7 формирование переходов.

Все эти задачи с позиций формализации можно разделить на две группы:

- 1 определение последовательности сборки;
- 2 определение средств для каждого этапа сборки.

Задачи определения средств сборки решаются с помощью ЭВМ путем построения информационно-поисковых систем. Перечни применяемого оборудования, инструмента, контрольных и измерительных средств вместе с их характеристиками составляют условно-постоянную информацию системы. Для каждого этапа сборки по соответствующим признакам осуществляется поиск необходимых средств.

Задачи определения последовательности сборки по своему функциональному назначению делятся на три вида:

- 1 формирование схемы, содержащей все оправданные варианты порядка сборки (т.е. учитывающей схему базирования, возможности доступа, способ получения точности замыкающего звена);
- 2 определение оптимальной организации процесса сборки по имеющейся схеме порядка (к таким задачам, прежде всего, относится задача технологического членения);
- 3 определение места в маршруте сборки операций механической обработки, контроля.

Результатом решения этих задач является последовательность сборки, которая оформляется в виде схемы сборки.

Из технологии известен ряд положений, который отражает правила проектирования сборочных процессов, основные из которых можно сформулировать таким образом:

1 Перед установкой какого-либо элемента должны быть выявлены элементы, определяющие его положение в пространстве изделия, т.е. базовые.

2 Если в конструкции сборочной единицы доступ какого-либо элемента к месту сочленения перекрывается другим элементом, то элемент, ограничивающий доступ, должен устанавливаться после элемента, доступ к которому ограничен.

3 Следует постепенно переходить к сборке тех сборочных единиц и деталей, размеры и относительные повороты поверхностей которых являются общими звеньями, принадлежащими постепенно уменьшающемуся количеству размерных цепей.

4 В каждой размерной цепи последними устанавливаются элементы, размеры и относительные повороты которых являются звеньями размерной цепи, содержащей замыкающее звено.

5 При выделении технологических сборочных единиц обязательным условием является возможность их существования независимо друг от друга.

Построение схемы сборки является первым этапом построения ТП.

Информационный базис решения этой задачи закладывается на стадии структурного анализа выпускаемой продукции. При этом в ряде случаев используется автоматизированная система структурного анализа (АССА), один из вариантов которой описан в работе Петухова А.В. «Автоматизация структурного анализа при технологической подготовке производства опытных образцов». В результате работы этой системы формируются:

- ведомость структурного состава,
- ведомость заготовок,
- сводная материальная ведомость на сборочную единицу,
- сводная материальная ведомость на изделие,
- ведомость покупных изделий, сборочных единиц и деталей.

На следующем этапе производится формирование операций. По определению операция связана со сборкой сборочной единицы или изделия на одном рабочем месте, что, как правило, соответствует одному оборудованию (пресс, вальцовочная машина, ванна для промывки, стол сборщика) и оснастке. Исходя из этого положения,

группы переходов объединяются в операцию по признаку использования одного и того же оборудования, оснастки и принадлежности одной сборочной единице, выделенной в задаче технологического членения.

76 Состав и функции информационных технологий

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;
- трехмерная 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 работы 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, файлов с твердотельными моделями деталей и операционных заготовок, а также комплектов технологических документов и параметрических моделей технологических процессов. Наличие указанной информации дает возможность эффективно проектировать технологические процессы с разработкой операционных заготовок, управляющих программ и конструкций технологического оснащения. Быстрый доступ является

необходимым условием для эффективной реализации принципа преемственности конструкторских и технологических решений.

77 Обзор современных PDM-систем

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 жесткой конкуренции большое значение приобретает контроль процесса разработки проекта и изготовления изделий. Автоматизация функций ведения проекта, контроля разработки и изготовления изделия рядом фирм считается приоритетными направлениями автоматизации управления.

Для автоматизированного управления проектом в настоящее время разработано много систем, получивших название EDM-системы (Enterprise Data Management – система управления проектами). Аналогичное назначение имеют TDM-системы (Technical Data Management – система управления документами).

EDM-система представляет собой настройку над системой управления документами, так как для создания EDM-системы необходимо добавить лишь следующие функции:

- ведение структуры состава изделия и ее визуализация;
- быстрый вывод содержания документов при просмотре состава изделия;
- выполнение изменений в документах с помощью приема «красный карандаш»;
- контроль выполнения проекта;
- интеграция на уровне пользовательского интерфейса с другими CAD-системами, а также с CAM/CAE/MPR-системами;
- составление спецификаций, учет применяемости деталей и сборочных единиц (СЕ).

В EDM-системах в учетной карточке документа для поддержки жизненного цикла документа фиксируют статус и доступность документа.

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 прохождения документации по различным подразделениям, т. е. необходимо автоматизировать функции ведения документооборота.

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 основным объектом, с которым манипулирует PDM-система – это карта делового процесса, содержащая последовательность обработки информации в рамках какой-либо подсистемы, либо предприятия в целом. Технология автоматизации деловых процессов, обычно называемая workflow, признана важнейшим средством, позволяющим осуществить интеграцию подсистем, при наличии, естественно, единого информационного пространства. Предоставляемые PDM-системой возможности Web-технологий позволяют с одной стороны использовать удаленные базы данных, необходимые для проектирования ТП, а с другой – организовать виртуальные рабочие места (VRM) технолога. Использование VRM позволяет в самых сложных случаях привлечь к проектированию технологических процессов высококвалифицированных специалистов и, тем самым, повысить качество проектируемых ТП.

Возможность использования трехмерной графики позволяет по-новому организовать работу с графическими объектами. Трехмерная модель детали с помощью САД-системы последовательно дорабатывается до трехмерных моделей операционных эскизов. Высокая наглядность трехмерных моделей операционных эскизов, возможность их использования для разработки управляющих программ делают такие модели весьма перспективными для их использования при проектировании технологических процессов. Так как PDM-система включает в себя и СУД и EDM-систему, то в дальнейшем будем рассматривать только PDM-системы.

78 Эффективность применения и дополнительные возможности использования PDM-систем

Какова эффективность от применения достаточно сложных и дорогих PDM-систем? 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. Таким образом, наличие системы управления документами позволяет:

во-первых, выполнять распараллеливания работ над объектом, и сократить сроки ТПП;

во-вторых, повышать достоверность информации за счет изменения документа (модели) только в электронном архиве;

в-третьих, уменьшать затраты на изменения;

в-четвертых, повышать скорость поиска документов с нужными данными;

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 сборочных единиц;

во-вторых, позволяет уменьшить время контроля правильности разработки детали или сборочной единицы. Конструктор может быстро вставить твердотельную модель детали в модель сборочной единицы и посмотреть, как будет расположена деталь в сборочной единице. 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-четвертых, позволяет увеличить скорость проведения изменений за счет приема «красный карандаш»;

в-пятых, позволяет уменьшить время проектирования за счет заимствования чертежей деталей и сборочных единиц, разработанных другими организациями, посредством операций импорта-экспорта.

79 Подходы, применяемые при синтезе маршрута с использованием PDM-системы

Синтез структуры процесса на уровне маршрута может выполняться с помощью PDM-системы. Для этого все технологические

процессы и детали должны быть зафиксированы в дереве проекта PDM-системы.

Для проектирования ТП по дереву проекта выбирается нужный ТП (унифицированный или единичный) и на его основе создается рабочий технологический процесс. Поиск нужного ТП выполняется либо на основе просмотра дерева проекта, либо на основе поиска по атрибутам учетных карточек на технологические процессы. Наиболее часто применяемые поисковые предписания могут быть зафиксированы в дереве проекта. Поиск единичного процесса по дереву проектов целесообразно выполнять на основе поиска детали-аналога по атрибутам учетных карточек на детали, хранимых в электронном архиве. Разработанный рабочий ТП помещается в базу данных в дереве проектов.

Таким образом, реализация смешанного метода проектирования на основе PDM-системы позволяет в максимальной степени использовать принцип преемственности технологических решений.

Такой подход позволяет реализовать смешанный (гибридный) метод проектирования, при котором синтез структуры может идти на основе любых ТП (унифицированных или единичных) и реализовать принцип преемственности технологических решений.

При проектировании технологических процессов на уровне операций важной задачей является формирование моделей операционных заготовок. Современные информационные технологии предоставляют новые возможности для формирования моделей операционных заготовок на основе трехмерного моделирования объектов. Твердотельные модели операционных заготовок необходимы для получения управляющих программ с помощью современных САМ-систем. Кроме того, твердотельные модели операционных заготовок могут быть использованы для конструирования технологической оснастки. В настоящее время существует ряд САД-систем для проектирования пресс-форм и штампов, использующих трехмерную модель операционной заготовки в качестве исходных данных. Проектирование технологической операции целесообразно завершать проектированием трехмерной модели операционной заготовки с помощью САД-системы. Это дает возможность доступа к ней специалистам по разработке управляющих программ и конструкторам средств технологического оснащения.

80 Автоматизация поиска нормативно-справочной информации на базе PDM-системы

При проектировании технологических процессов необходимо выполнять поиск в большом объеме нормативно-справочной информации (НСИ): поиск заготовок, припусков, средств

технологического оснащения, режимов резания и т. д. Организация хранения и поиска НСИ наиболее эффективно может быть выполнена на основе электронного архива, что дает возможность использовать удаленные базы данных. Во многих случаях необходим поиск объектов по их общим характеристикам, при этом в качестве универсального механизма поиска целесообразно использовать PDM-систему. Возникает закономерный вопрос: почему PDM-система, а не современные СУБД, обладающие развитыми возможностями для поиска информации и работающие в режиме «клиент-сервер»?

Во-первых, при поиске в электронном архиве PDM-система обычно использует ядро какой-либо СУБД. Например, PDM-система типа «SmartTeam» ориентирована на СУБД «InterBase».

Во-вторых, уникальная возможность доступа к любым документам, связанным с найденным объектом, дает существенные преимущества PDM-системе.

В-третьих, возможность записи общих характеристик в учетной карточки объекта придает PDM-системе простоту и универсальность поиска в режиме диалога по дереву проекта.

Анализ алгоритмов принятия решений при работе с НСИ показывает, что часто при ручном решении задач используются сложные одно- и двухвходовые таблицы. Автоматизация поиска по этим таблицам во многих случаях невозможна, либо требует сложной перестройки исходных таблиц перед их вводом в базу данных. Поэтому нужны специальные инструментальные средства для работы с такими таблицами и принятие решений на основе указанной архитектуры.

81 Использование таблиц решений при создании САПР ТП

Практика создания САПР ТП показывает, что для повышения адаптивных свойств системы запись технологических решений целесообразно выполнять с помощью так называемых «табличных алгоритмов» (таблицы решений, алгоритмические и информационно-логические таблицы и т. д.). Использование табличных алгоритмов позволяет достаточно быстро настроить систему на производственные условия конкретного предприятия. Для этого технолог может вызывать из базы знаний эти табличные алгоритмы и выполнять над ними необходимые корректировки. Принятие решений по этим таблицам выполняется с помощью универсальных модулей интерпретирующего типа.

Анализ нормативно-справочной информации показывает, что используемые в ней таблицы отличаются большим структурным разнообразием: один или два входа; матрица решений или логический

базис; получение одного или нескольких решений и т.д. Однако механизмы принятия решений, как по этим таблицам, так и по табличным алгоритмам, подчиняются единым закономерностям и, следовательно, возможно создание единого аппарата для их обработки.

82 Создание единого информационного пространства и модели проблемной среды при внедрении САПР ТП

Практика разработки САПР ТП показала, что стыковка отдельных модулей между собой часто затруднена из-за того, что одни и те же признаки объектов выражены разными реквизитами. Базы данных САПР ТП отличаются исключительным структурным разнообразием, при этом имеет место ситуация, когда в разных наборах данных используются одни и те же признаки, однако выраженные разными реквизитами, т. е. поля записей для одних и тех же признаков имеют разные атрибуты: наименование, обозначение, тип и длину поля.

Эта ситуация приводит к большому количеству ошибок и к ненадежному функционированию САПР ТП. Поэтому введем понятие *«единое информационное пространство»*, которое подразумевает создание и использование *единого словаря данных* (параметров). В словаре для каждого реквизита фиксируются его атрибуты, например:

- полное наименование;
- обозначение;
- тип и длина;
- размерность;
- наличие классификатора (кодификатора).

Такой подход позволяет обеспечить информационную стыковку модулей и повысить надежность функционирования САПР ТП. Наличие словаря данных облегчает проектирование ТП на первом и втором уровне автоматизации проектирования. Если технолог вывел на экран набор данных, то с помощью словаря он может разобраться в структуре набора данных и определить по каким полям целесообразно вести поиск нужных записей. При использовании табличного процессора словарь используется для контроля входных данных, что повышает надежность функционирования поискового модуля. Словарь данных необходим при выводе документа на основе его модели, т.к. в модели технологического документа фиксируется обозначение реквизита, значение которого заносится в оформляемый документ независимо от способа его получения.

83 Назначение средств технологического оснащения при помощи PDM-системы

Методика назначения технологического оснащения, изложенная в предыдущих разделах, рекомендует поиск оснащения выполнять в три этапа:

- поиск вида объекта;
- поиск типоразмера объекта;
- определение возможности использования найденного типоразмера.

На *первом этапе* поиск может выполняться либо в режиме диалога, либо в автоматическом режиме. Поиск вида объекта в режиме диалога выполняется на первом и втором уровнях проектирования ТП. Поиск, как было показано выше, целесообразно выполнять с помощью PDM-системы. Сначала в дереве проекта находится папка «Базы данных», в ней выбирается, например, папка «Режущий инструмент», далее – папка «Сверла цилиндрические с цилиндрическим хвостовиком короткой серии» и так далее до папки с набором типоразмеров сверл. Для ускорения поиска вместо спуска по дереву проекта можно использовать постоянные запросы, также хранимые в дереве проекта.

На *втором этапе* поиск типоразмера объекта может выполняться в режиме диалога, при котором на экран выводится набор с типоразмерами. При необходимости используется словарь данных. Большинство PDM-систем имеет большую библиотеку процедур для просмотра как файлов, применяемых в основных промышленных СУБД, так и графических файлов, формируемых в САД-системах.

На *третьем этапе* возможность применения найденных типоразмеров обычно определяется в режиме диалога, т.к. все обстоятельства, препятствующие использованию найденного объекта, формализовать практически не удается.

84 Жизненный цикл технологического документа при использовании PDM-системы

После проектирования технологического процесса результаты проектирования фиксируются с помощью PDM-системы. Для этого в дереве со структурой изделия находится папка с деталью, для которой разрабатывался технологический процесс, и в ней регистрируется папка для технологического процесса. В свою очередь в этой папке регистрируются файлы с комплектом технологических карт, файлы с параметрической моделью ТП, графические файлы с операционными эскизами и картами наладки оборудования и т. д. При регистрации на каждый документ заводится учетная карточка. В этой карточке кроме

общих характеристик объекта фиксируется и определенный статус (состояние) документа:

- «У автора».
- «На общем столе».
- «На изменении».
- «Утвержден».
- «В хранилище».

Перевод документа из одного состояния в другое выполняется с помощью следующих специальных процедур PDM-системы:

- «Сдать на рассмотрение».
- «Взять на рассмотрение (изменение)».
- «Сдать после рассмотрения (изменения)».
- «Взять для создания новой версии».
- «Сдать в хранилище».

Используя статус документа и процедуры для его изменения, можно отслеживать жизненный цикл документа.

85 Основные принципы маршрутизации деловых процессов

В состав PDM-системы входят средства маршрутизации деловых процессов. Рассмотрим основные принципы такой маршрутизации.

Деловой процесс, с информационной точки зрения, – это последовательность деловых процедур над объектами (документами в виде текстовых или графических файлов, различного типа моделями деталей, сборочных единиц и технологическими процессами), меняющая их состояние и направленная на обеспечение жизненного цикла изделия.

Деловая процедура – это последовательность действий, меняющая состояние объекта, т. е. содержание, форму существования, доступ и статус объекта.

Деловой процесс обрабатывается по правилам двух типов: правила обработки процедур и правила маршрутизации. *Правила обработки процедур* могут быть от самых простых (заполнение полей документа), до очень сложных, выполняемых специальными приложениями, например, получение твердотельной модели детали. *Правила маршрутизации* определяют последовательность выполнения процедур. Различают два вида маршрутизации: жесткая или свободная. *Жесткая маршрутизация* применяется, когда порядок выполнения процедур известен заранее и не зависит от результата выполнения процедур. *Свободная маршрутизация* определяется результатами выполнения процедур. Если заранее нельзя сказать, какая процедура

будет запущена после выполнения заданной, то решение этого вопроса передается участнику делового процесса, наделенному соответствующими правами.

В зависимости от порядка следования процедур, маршрутизация может быть *последовательной* или *параллельной*. Последовательная маршрутизация подразумевает выполнение деловых процедур одна за другой. Очередная процедура активизируется только после завершения предыдущей. Таким образом, при последовательной маршрутизации в определенный момент времени может быть запущена только одна процедура. Необходимо отметить, что жесткая последовательная маршрутизация не обязательно представляет собой линейную цепочку процедур, т. к. после выполнения процедуры может измениться статус документа. Например, если после процедуры «Утверждение документа» документ получит статус «утвержден», то он будет направлен к одной процедуре, а если статус «доработать», то к другой процедуре.

Таким образом, в формальное описание делового процесса могут быть включены логические операции «Если..., то ... , иначе ...», позволяющие осуществить ветвление процесса обработки объектов.

86 Параллельная маршрутизация делового процесса

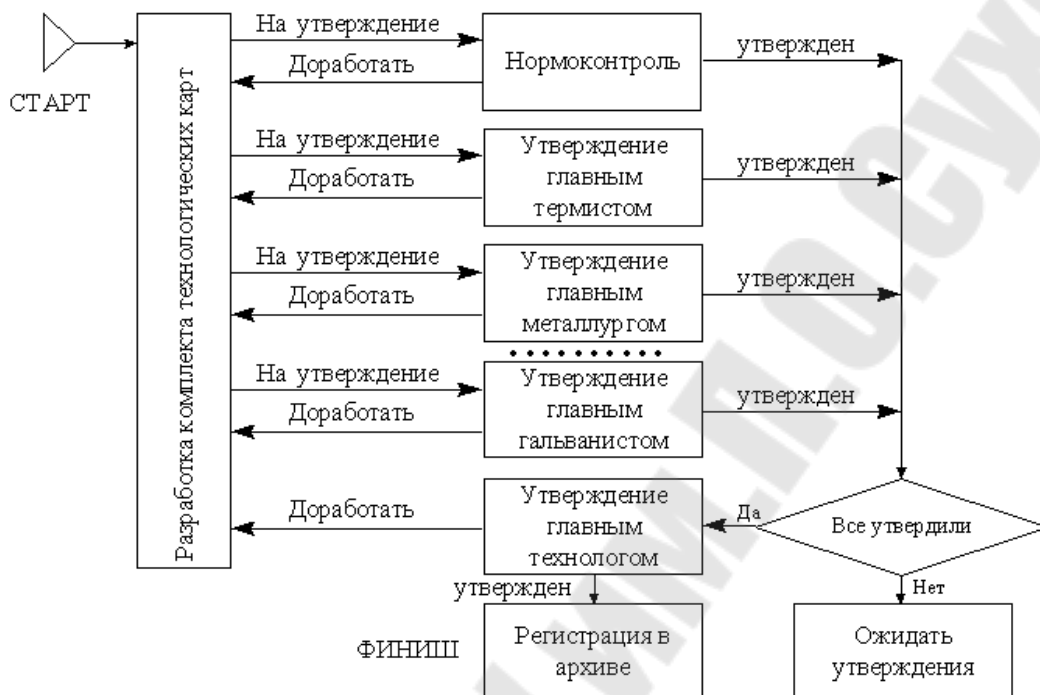
Параллельная маршрутизация приводит к одновременной активизации нескольких деловых процедур, при условии, что активизируемые процедуры независимы друг от друга и выполнение одной из них не требует результатов, получаемых после завершения другой (см. рисунок).

Для привязки делового процесса к его участникам используется термин «работа», под которым понимается комплекс процедур, закрепленных для выполнения за определенным лицом или группой лиц. В зависимости от распределения ролей между участниками делового процесса выделяют следующие типы ролей: инициатор работы (издание распоряжений), исполнитель работы (обработка документов), наблюдатель (контроль выполняемой работы). За каждым участником делового процесса закрепляют: расположение, функции и права доступа. Если участник – группа лиц, то на них распространяются указанные выше характеристики, закрепленные за группой.

В развитых PDM-системах для лиц, входящих в группу, могут быть предусмотрены различные режимы адресации работ:

- закреплять все пришедшие работы, которые может выполнить исполнитель;
- закреплять за исполнителем только одну работу, и новую назначать после исполнения прежней;

- назначать вновь пришедшую работу наименее загруженному исполнителю.



Последний режим адресации является весьма сложным, т. к. требует определения загрузки всех лиц, входящих в группу и возможен только в очень немногих PDM-системах.

Координация работ достигается за счет правильной организации делового процесса. Таким образом, технология WORKFLOW является важным резервом сокращения сроков ТПП.

Однако необходимо отметить, что внедрение нового автоматизированного документооборота требует предварительного анализа существующего документооборота по специальным методикам.

87 Системы CADMECH, Search и TechCARD

Отечественная компания «Интермех» хорошо известна своими разработками в области автоматизации проектирования машиностроительных конструкций (система *CADMECH*), автоматизации проектирования при технологической подготовке производства (система *TechCARD*), технического документооборота и управления информацией об изделиях (система *Search*).

CADMECH – система, значительно расширяющая возможности AutoCAD в области проектирования машиностроительных чертежей. CADMECH ускоряет проектирование в 10-15 раз по сравнению с «чистым» AutoCAD и сокращает сроки освоения AutoCAD до 2-3 дней.

CADMECH создан совместными усилиями конструкторов и программистов, поэтому максимально учитывает специфику работы конструктора-механика. Использование CADMECH не требует для сопровождения штата программистов, однако оставляет возможность для привлечения их при расширении возможностей системы.

TechCARD представляет собой программно-методический комплекс систем автоматизации проектирования, используемый при технологической подготовке производства.

Для выполнения узких технологических задач система может поставляться в виде отдельных автоматизированных рабочих мест:

- АРМ расцеховочных маршрутов;
- АРМ материального нормирования;
- АРМ трудового нормирования;
- АРМ перевода технологических процессов.

В состав каждого АРМа входит система SEARCH-T.

Комплекс *TechCARD* обеспечивает реализацию следующих основных задач:

- просмотр конструкторского архива по составу изделий, ведение и сопровождение архива документов (чертежей, спецификаций, техпроцессов, текстовых документов и т.д.), организация различных выборок, составление отчетов;
- создание любых новых и редактирование имеющихся в базе данных форм бланков технологической документации;
- создание расцеховочных маршрутов на изделие и вариантов расцеховочных маршрутов в зависимости от входимости изделия в другие изделия;
- проектирование технологического процесса обработки детали для различных видов производств (механообработка, гальваника, термообработка, сварка, консервация, окраска, литье, сборка, холодная штамповка) в диалоговом режиме;
- возможность сквозного проектирования технологических процессов, когда ответственный за проектирование ТП назначает исполнителей, одновременно выполняющих разработку отдельных операций одного и того же технологического процесса;
- предоставление гибкой подсистемы расчетов: расчеты выполняются по настраиваемым сценариям с привлечением встроенной экспертной системы, использующей базу знаний;

- язык представления знаний в базе знаний – правилами «если-то»;
- автоматический подбор оборудования и оснастки к операциям и переходам с привлечением средств экспертной системы;
 - проектирование технологического процесса обработки детали:
 - на основе ТП-аналога;
 - с использованием библиотеки типовых фрагментов (фрагмент представляет собой набор операций, переходов и используемой оснастки);
 - с применением типовых ТП;
 - формирование и принятие автоматизированных проектных решений на различных этапах проектирования ТП, в том числе использование в качестве исходных данных для проектирования информации непосредственно из чертежа детали;
 - автоматизированное построение и редактирование операционных эскизов с обеспечением передачи параметров технологического процесса в графическую систему и получением в составе одного бланка (операционной карты) текста и графического изображения;
 - просмотр комплекта документов с возможностью внесения замечаний, управление оформлением и выводом комплекта на печать, возможность получения документов в Microsoft Excel;
 - иллюстрирование графическими изображениями классификаторов, справочников, сценариев, анкет оснастки и паспортов оборудования;
 - перевод полученных комплектов документов на другие языки (если предприятие работает с иностранными заказчиками); для перевода используется АРМ переводчика со встроенным словарем, пополняемым пользователем;
 - просмотр технологических процессов при помощи утилиты, не требующей лицензию TechCard;
 - ведение списка пользователей, которые могут работать с системой (вход в систему по паролю), обеспечение безопасности путем назначения пользователям прав доступа на выполнение тех или иных действий;
 - обеспечение взаимосвязи с системой ведения архива конструкторской документации Search (разработка НПП «ИНТЕРМЕХ») для организации и ведения архива технологических документов и с системой разработки конструкторской документации CADMECH (разработка НПП

«ИНТЕРМЕХ») для проектирования и оформления операционных эскизов и карт наладок; система CADMECH предоставляет наиболее полные возможности для создания эскизов, операционные эскизы могут быть также созданы в любой графической системе и переданы в TechCard в виде изображений;

- обеспечение взаимосвязи с системой SolidWorks для оформления операционных эскизов;
- предоставление OLE-интерфейса для экспорта данных во внешние системы, к примеру, в АСУП; интерфейс предоставляется OLE-сервером, который не требует лицензию TechCard и может быть установлен на любое количество машин.
- получение выборок изделий и техпроцессов по разнообразным критериям с целью последующего получения по ним ведомостей; в качестве критериев могут выступать атрибуты изделия, расцеховочного маршрута или параметры техпроцесса (оборудование, оснастка, материалы и т.д.);
- получение практически любых ведомостей и сводных ведомостей по материалам, операциям, переходам, оборудованию, оснастке, расцеховочным маршрутам, технологическим документам.

88 Системы Компас, Вертикаль и Лоцман: PLM

Разработчиком систем является *российская фирма АСКОН* (www.ascon.ru), имеющая представительство в столице республики Беларусь. На рынке фирма позиционируется, как разработчик систем комплексной автоматизации технической подготовки производства, включающей автоматизацию проектно-конструкторских работ (системы *КОМПАС-График*, *КОМПАС-3D*, «*Электронный Справочник конструктора*») и технологического проектирования (система *ВЕРТИКАЛЬ*). Технический документооборот и управление информацией об изделиях автоматизируются использованием системы *ЛОЦМАН:PLM*.

Система трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС-3D предназначена для создания трехмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа.

Чертежный графический редактор КОМПАС-График предназначен для автоматизации проектно-конструкторских работ в

машиностроении и строительстве. Редактор может использоваться как интегрированный в КОМПАС-3D модуль, так и в качестве самостоятельного продукта, решающего задачи 2D-проектирования и выпуска документации.

Система автоматизации технологической подготовки производства ВЕРТИКАЛЬ – это программный комплекс автоматизации ТПП, предназначенный для решения следующих задач:

- проектирования ТП;
- расчета количества материалов для производства изделия;
- расчета режимов обработки;
- расчета затрат труда;
- формирования комплекта технологической документации.

ЛОЦМАН:PLM – это система управления инженерными данными и жизненным циклом изделия. Она является центральным компонентом единого информационного пространства и обеспечивает:

- управление информацией о структуре, вариантах конфигурации изделий и входимости компонентов в различные изделия;
- хранение технической документации на изделие;
- управление процессом разработки изделия.

89 Системы T-Flex: CAD, Технология и DOCs

Эти системы разработаны *российской компанией «Топ Системы»* (www.tflex.ru). Компания имеет филиал в Минске.

В комплекс *T-Flex* российской фирмы «Топ Системы» входит ряд подсистем конструкторского и технологического проектирования, прикладных программ, баз данных и подсистема документооборота. В подсистему конструкторского проектирования встроен модуль для подготовки УП для оборудования с ЧПУ. Таким образом, использование комплекса *T-Flex* позволяет получить полноценное CAD/CAM-решение.

Отличительной особенностью программных продуктов компании «Топ Системы» является использование ядра Parasolid, разработанного компанией «Unigraphics Solutions» в подсистеме трехмерного твердотельного моделирования *T-Flex CAD 3D*. Это позволяет получать параметрические чертежи любой сложности, включая сборочные. При этом в системе используется геометрическая параметризация, более устойчивая при модификации моделей, чем размерная, т.к. размерная ориентирована на построение эскизов для трехмерных операций и имеет определенные количественные ограничения. В *T-Flex CAD* параметрическим является все – от положения линий и элементов сборочного чертежа до содержимого текста и любых атрибутов

элементов. Кроме того в T-Flex CAD есть модуль, позволяющий моделировать процессы нагружения конструкции и оценивать ее прочность с использованием метода конечных элементов.

Подсистема электронного документооборота T-FLEX DOCs 2010 предоставляет современные и удобные средства организации работы с данными о составе изделия. Эти средства позволяют автоматически поддерживать в актуальном состоянии информацию о номенклатуре изделий, контролировать уникальность параметров и автоматизировать работу с объектами в составе изделия. Подсистема имеет в своем составе модуль контроля исполнительской дисциплины. Помимо этого T-FLEX DOCs 2010 имеет готовые модули интеграции практически ко всем наиболее популярным системам проектирования. Среди них: T-FLEX CAD, Solid Works, Autodesk Inventor, AutoCAD, Компас, Pro/E и Siemens NX.

Подсистема T-Flex: Технология поддерживает различные методы проектирования: диалоговое проектирование с использованием баз технологических данных; проектирование на основе техпроцесса-аналога; заимствование технологических решений из ранее разработанных технологий; проектирование с использованием библиотеки технологических решений; проектирование групповых и типовых технологических процессов; из общего технологического процесса; автоматическое проектирование с использованием библиотеки технологических решений. При проектировании нового инструмента, оснастки или комплектующих в T-FLEX CAD, а также при создании операционных эскизов, их рабочие чертежи могут быть ассоциативно связаны с элементами справочников программы для технологической подготовки T-FLEX Технология.

При работе с подсистемой T-FLEX Технология пользователь может оперировать всеми необходимыми технологическими данными в рамках одного системного окна. Многостраничный интерфейс позволяет для просмотра конструкторского чертежа детали и созданных операционных эскизов не переключаться между приложениями. Рабочее окно обеспечивает отображение операционного маршрута обработки, расцеховочного маршрута, справочников и расчетов в виде дерева.

В подсистему подготовки программ для станков с ЧПУ входит более 100 готовых постпроцессоров для фрезерной, токарной, сверлильной, электроэрозионной и лазерной обработки, имеются средства для генерации постпроцессоров, отсутствующих в библиотеке. Возможно формирование программ 2,5-, 3- и 5-координатной фрезерной обработки.

90 Сравнительный анализ систем автоматизированного проектирования технологических процессов

При сравнительном анализе целесообразно использовать методику, изложенную Погребинским А. и Павловым А. в работе «Сравнительный анализ CAD/CAM-систем», опубликованной в восьмом номере журнала «Машиностроение» за 2000 г. Рассмотрим применение указанной методики к анализу следующих блоков систем:

- Системы: CADMECH, Search и TechCARD;
- Системы: Компас, Вертикаль и Лоцман: PLM
- Системы: T-Flex: CAD, Технология и DOCs

При исследовании оценивались возможности систем по следующим направлениям:

- работа с данными о составе изделия;
- интеграция с PDM-системами;
- проектирование технологических процессов;
- работа с технологическими справочниками;
- техническое нормирование;
- режимы резания;
- материальное нормирование;
- подготовка управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

Качество систем оценивалось по трехбалльной системе. Наивысший балл присваивался в том случае, если все поставленные тесты выполнялись. Частичное выполнение засчитывалось как удовлетворительное. Невыполнение всех тестов выносило оценку «плохо». При окончательном формировании оценки учитывались также личные впечатления специалистов, испытывавших систему, и время на освоение и решение задач.

По результатам тестирования и опыту применения систем на предприятиях исходный перечень был разделен на три группы.

К первой группе были отнесены претенденты на сопровождение сквозного проектирования, ко второй – системы, в которых предусмотрен контроль исполнительской дисциплины, к третьей – интегрированные CAD/CAM-системы, поддерживающие ЧПУ, и имеющие модуль, позволяющий моделировать процессы нагружения конструкции и оценивать ее прочность с использованием метода конечных элементов.

Итогом исследования стало следующее распределение систем:

Группа I – Системы: Компас, Вертикаль и Лоцман: PLM;

Группа II – Системы: CADMECH, Search и TechCARD;

Группа III – Системы: T-Flex: CAD, Технология и DOCs.

91 Перспективы развития автоматизации проектирования технологических процессов

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;
- методическое;
- функциональное;
- информационное;
- программно-математическое;
- организационное.

Системное направление. В системном плане 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 технологических процессов, так и проектирование на основе унифицированной технологии. Кроме того, САПР ТП должна допускать создание ТП на разных уровнях автоматизации проектирования.

Функциональное направление. В функциональном плане средой проектирования САПР ТП должна быть PDM-система, использование которой позволяет организовать эффективное управление и контроль процесса проектирования ТП.

Информационное направление. В информационном плане для доступа к электронному архиву САПР ТП должна использоваться PDM-система, 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. В программно-математическом плане 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 эффективные инструментальные средства для сопровождения и адаптации модели проблемной среды.

Для стыковки САПР ТП и САПР К необходимо иметь пакет программ для преобразования трех мерных моделей деталей и заготовок в параметрические модели и наоборот. На основе такого пакета возможна интеграция между конструкторским и технологическим САПР и САПР управляющих программ (CAD/CAPP/CAM-система).

Организационное направление. В организационном плане САПР ТП должна быть ориентирована на коллективную работу над технологическим процессом. Одновременный доступ к параметрической модели ТП предоставляется с помощью PDM-системы. Параллельно с проектированием ТП разрабатываются трехмерные 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.

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

ЛИТЕРАТУРА

1 Петухов А.В. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов: пособие по одноименному курсу для студентов специальности 36.01.01 «Технология машиностроения» – Гомель: ГГТУ им. П.О.Сухого, 2005. – 84 с.

2 А. В. Петухов, Д. В. Мельников, В. М. Быстренков. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов: учебн. пособие / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О.Сухого, 2011. – 143 с.

Разработчик: старший преподаватель
кафедры «Технология машиностроения»

Петухов А.В.