

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

**А. В. Вялов**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ В АВИАСТРОЕНИИ**

Допущено Учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений РФ в области авиации, ракетостроения  
и космоса в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по специальности 160100.65

Комсомольск-на-Амуре  
2014

УДК 681.1(07)  
ББК 30.2-5-05я73  
В994

*Рецензенты:*

Кафедра «Технология производства летательных аппаратов»  
Российского государственного технологического университета  
им. К.Э. Циолковского (МАТИ), заведующий кафедрой  
доктор технических наук, профессор **А. С. Чумадин**;  
**А. В. Станкевич**, кандидат технических наук, начальник Научно-  
производственной лаборатории технологических процессов  
НПО ОАО «Комсомольское-на-Амуре авиационное  
производственное объединение им. Ю.А. Гагарина»

**Вялов, А. В.**

В994 Автоматизация технологического проектирования в авиастроении :  
учеб. пособие / А. В. Вялов. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО  
«КнАГТУ», 2014. – 171 с.

ISBN 978-5-7765-0883-7

В учебном пособии рассмотрены вопросы автоматизации отработки конструкции изделий на технологичность. Представлена классификация технологических процессов. Рассмотрены методы подготовки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, методы проектирования технологических процессов. Представлены сведения об автоматизированных системах разработки управляющих программ и технологических процессов изготовления деталей и сборки элементов планера самолета.

Предлагаемый материал может быть полезен студентам специальности «Самолето- и вертолетостроение» при изучении дисциплин «Автоматизация технологического проектирования» и «Автоматизированные системы технологической подготовки производства», при выполнении выпускных квалификационных работ и дипломных проектов.

УДК 681.1(07)  
ББК 30.2-5-05я73

ISBN 978-5-7765-0883-7

© ФГБОУ ВПО «Комсомольский-  
на-Амуре государственный  
технический университет»,  
2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА .....	6
1.1. Задачи технологической подготовки производства .....	6
1.2. Классификация технологических процессов .....	14
1.3. Технологическая документация .....	17
2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ .....	23
2.1. Основные понятия и определения .....	23
2.2. Качественная оценка технологичности конструкции изделий .....	25
2.3. Количественная оценка технологичности конструкции изделий .....	27
2.4. Автоматизация процессов обработки на технологичность конструкции изделий .....	32
3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ .....	38
3.1. Числовое программное управление .....	39
3.2. Классификация систем ЧПУ .....	40
3.3. Подготовка управляющих программ .....	41
3.4. Структура систем автоматизации программирования .....	54
3.5. Автоматизированная система для подготовки управляющих программ T-FLEX ЧПУ .....	58
3.6. Проектирование операции гибки для профилегибочного растяжного станка с ЧПУ .....	63
3.6.1. Структура программно-методического комплекса .....	65
3.6.2. Методика расчета установочных параметров станка ПГР .....	70
3.6.3. Структура управляющей программы для станка ПГР с ЧПУ .....	75
3.6.4. Структура системы автоматизированного программирования станка ПГР .....	78
3.6.5. Методика проектирования технологического процесса гибки деталей на станке ПГР с ЧПУ .....	81
3.7. Разработка управляющих программ для клепального автомата с ЧПУ .....	84
3.7.1. Общие сведения о клепальном автомате IPAC .....	84
3.7.2. Разработка маршрута обработки панели .....	88

3.7.3. Принципы задания координат и движений рабочих элементов автомата.....	90
3.7.4. Структура управляющей программы для клепального автомата IPAC.....	92
4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....	96
4.1. Методы проектирования технологических процессов.....	97
4.2. Математическое моделирование технологических процессов .....	108
4.3. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов .....	115
4.3.1. Состав и структура САПР ТП .....	115
4.3.2. Система ADEM .....	130
4.3.3. Программный комплекс ВЕРТИКАЛЬ-Технология .....	131
4.3.4. Система моделирования процессов производства DELMIA.....	132
4.3.5. Система автоматизации технологической подготовки производства NATA .....	133
4.3.6. Система комплексной автоматизации ТПП TECHCARD ..	134
4.3.7. Система автоматизации технологического проектирования T-FLEX Технология .....	135
4.3.8. Система TechnologiCS.....	136
4.3.9. Система автоматизации технологического проектирования ТехноПро .....	137
4.3.10. Система проектирования сборочных технологических процессов ТЕМП АСП.....	144
5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ .....	156
5.1. Классификация технологической оснастки .....	156
5.2. Методики проектирования технологической оснастки .....	158
5.3. Применение автоматизированных систем при проектировании технологической оснастки .....	161
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	168
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	169

## ВВЕДЕНИЕ

Организация серийного выпуска летательных аппаратов связана с выполнением сложного и трудоемкого процесса технологической подготовки производства.

Конструктивная и технологическая сложность современных летательных аппаратов постоянно повышается, вследствие этого увеличиваются сроки выполнения технологической подготовки производства и актуальными являются вопросы повышения ее эффективности.

Одним из ответственных этапов технологической подготовки производства является технологическое проектирование. Трудоемкость технологического проектирования в зависимости от типа производства может составлять 30 – 60 % от длительности технологической подготовки.

Технологическое проектирование связано с выполнением следующего комплекса работ:

- обеспечением производственной технологичности конструкции изделия и совершенствованием производственной системы;
- проектированием технологических процессов;
- проектированием технологической оснастки.

Одним из путей снижения сроков проведения и повышения качества технологической подготовки производства является *автоматизация* технологического проектирования.

В настоящее время автоматизация технологического проектирования осуществляется за счет применения систем автоматизированного проектирования при проектировании технологических процессов, технологической оснастки и решении других технологических задач.

Автоматизированное проектирование предусматривает получение проектных решений путем взаимодействия человека и ЭВМ.

В учебном пособии представлены сведения о системе технологической подготовки производства, структуре технологических процессов, методах проектирования технологических процессов изготовления деталей и сборки сборочных единиц.

Представлены сведения о технологичности конструкции изделий, показателях и методах оценки, о применении автоматизированных систем при оценке конструкции изделий на технологичность.

Рассмотрены особенности подготовки управляющих программ для технологического оборудования, используемого при выполнении технологических методов, применяемых в самолетостроении: гибки с растяжением и клепки. Рассмотрена структура систем автоматизированного проектирования. Представлены сведения о современных системах автоматизации проектирования технологических процессов и технологической оснастки.

# 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

## 1.1. Задачи технологической подготовки производства

*Технологическая подготовка производства (ТПП)* – вид производственной деятельности предприятия (группы предприятий), обеспечивающий технологическую готовность производства к изготовлению изделий, отвечающих требованиям заказчика или рынка данного класса изделий.

*Технологическая готовность производства* – наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации, средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями.

ТПП при технологическом обеспечении создания продукции взаимосвязана со стадиями жизненного цикла, предусматривает проведение работ при проектировании изделий, изготовлении опытных образцов и единичных изделий, постановке на производство серийных изделий.

Задачей *ТПП при проектировании изделия* является формирование определяющих технологических и организационных решений по его производству.

*Технологическое решение* – проектное решение, в котором определены значения параметров технологических процессов изготовления данного объекта в заданных условиях и с заданными характеристиками.

*Организационное решение* – проектное решение, в котором определены форма (порядок) соединения элементов производства для обеспечения изготовления данного объекта в заданных условиях и с заданными характеристиками.

Организатором и ответственным исполнителем работ по формированию определяющих технологических и организационных решений по производству является разработчик, соисполнителями – изготовители опытных образцов, единичных и серийных изделий, а при научно-технической или экономической целесообразности – специализированные технологические организации.

Необходимость проведения, объем и содержание ТПП при проектировании разработчик устанавливает самостоятельно или по согласованию с заказчиком или изготовителем.

Критерием завершенности ТПП при проектировании изделия является наличие в составе технического проекта документации, содержащей определяющие технологические и организационные решения по производству изделия, подтвержденные, в случае необходимости, оценкой заказчика или независимых экспертов, если они не участвуют в ТПП.

При проведении *ТПП опытных образцов и единичных изделий* решаются следующие задачи:

- отработка в производственных условиях определяющих технологических и организационных решений по изготовлению изделия;
- обеспечение технологической готовности производства к изготовлению для приемочных испытаний опытных образцов, единичных и других изделий, подлежащих промышленному освоению.

Для проведения ТПП опытных образцов и единичных изделий разработчик передает изготовителю:

- рабочую конструкторскую документацию на опытный образец или на единичное изделие разового изготовления по мере ее готовности или комплектно на изделие в целом. Для сокращения сроков ТПП изготовитель по согласованию с разработчиком может начинать ТПП по конструкторской документации технического (эскизного) проекта;
- документацию (в том числе директивную), содержащую определяющие технологические и организационные решения по производству изделия.

ТПП опытных образцов и единичных изделий предусматривает выполнение следующих основных работ:

1) проработку рабочей конструкторской документации на опытные образцы и единичные изделия с учетом технологичности заложенных в нее решений;

2) завершение научно-исследовательских и опытно-технологических работ в области технологии, материаловедения и организации производства;

3) разработку с использованием информационных массивов описаний конструкторско-технологических решений:

а) технологических процессов изготовления опытных образцов и единичных изделий в соответствии с государственными стандартами Единой системы технологической документации (ЕСТД);

б) специальных средств технологического оснащения в соответствии с государственными стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и технологических процессов их изготовления в соответствии с государственными стандартами ЕСТД. Приоритетным для условий опытного производства является использование высокоточного универсального или переналаживаемого оборудования, упрощенной и переналаживаемой оснастки;

в) управляющих программ для автоматизированного технологического оборудования;

4) организацию изготовления специальных средств технологического оснащения для опытных образцов и единичных изделий;

5) формирование планов (программ) обработки принципиально новых, ранее не освоенных и наиболее ответственных технологических процессов и средств технологического оснащения в рамках планов (программ) обеспечения качества и надежности изделия с учетом требований серийного производства;

6) обработку технологических процессов и средств технологического оснащения в соответствии с планами (программами) обработки;

7) уточнение (корректировку) документации, содержащей определяющие технологические и организационные решения по производству изделия, а также рабочей документации на технологические процессы и средства технологического оснащения по результатам изготовления и испытаний опытных образцов и единичных изделий;

8) обеспечение требований ресурсосбережения, экологии и охраны труда при изготовлении и испытаниях опытных образцов и единичных изделий.

Критерием завершенности ТПП опытных образцов и единичных изделий является фактическое выполнение работ, предусмотренных планом, подтвержденное оценкой технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний, которую выполняет изготовитель с привлечением, при необходимости, независимых экспертов из специализированных технологических организаций, если они не участвуют в ТПП.

Задачей *ТПП серийных изделий* является обеспечение технологической готовности производства к изготовлению запускаемых в производство изделий, а также изделий, ранее освоенных другими изготовителями или изготавливаемых по технической документации иностранных фирм.

Для проведения ТПП серийных изделий разработчик передает изготовителю:

- комплект рабочей конструкторской документации на изделие;
- документацию (в том числе директивную), содержащую определяющие технологические и организационные решения по производству изделия, отработанную при изготовлении и испытаниях опытных образцов;
- опытные образцы, прошедшие приемочные испытания.

ТПП серийных изделий предусматривает выполнение следующих основных работ:

1) проработку рабочей конструкторской документации на серийное изделие с учетом технологичности заложенных в нее решений;

2) разработку или уточнение (корректировку) с использованием информационных массивов описаний конструкторско-технологических решений:

а) технологических процессов изготовления серийного изделия в соответствии с государственными стандартами ЕСТД;



б) специальных средств технологического оснащения в соответствии с государственными стандартами ЕСКД и технологических процессов их изготовления в соответствии с государственными стандартами ЕСТД;

в) управляющих программ для автоматизированного технологического оборудования;

3) приобретение (изготовление) специальных средств технологического оснащения для производства серийных изделий;

4) обеспечение необходимой технологической информацией реконструкции или нового строительства производственной и испытательной баз;

5) уточнение (корректировку) технологической документации по результатам изготовления и квалификационных испытаний установочной серии (первой промышленной партии);

б) обеспечение требований ресурсосбережения, экологии и охраны труда при изготовлении и испытаниях серийных изделий;

7) выполнение мероприятий по организации своевременного обеспечения необходимыми материалами, деталями, сборочными единицами, ПКИ, метрологическому обеспечению производства, технического контроля, аттестации технологических процессов, рабочих мест и технологического оборудования.

Критерием завершенности ТПП серийных изделий является фактическое выполнение работ, предусмотренных планом, подтвержденное оценкой технологической готовности производства к изготовлению серийных изделий.

Кроме перечисленных функций ТПП также выполняются следующие:

1) обеспечение технологичности элементов конструкции;

2) расцеховка деталей и сборочных единиц с целью распределения объемов работ между цехами основного производства предприятия;

3) организация и управление ТПП.

К задачам ТПП также относятся:

- разработка норм расхода основных материалов, заготовок, полуфабрикатов, покупных изделий, согласование технических условий на их поставку;

- реконструкция цехов завода, связанная с особенностями конструкции нового изделия и технологии его изготовления;

- создание новых подразделений основного производства;

- изготовление головной серии осваиваемого изделия и отработка технологических процессов и оснастки при его изготовлении.

*Расцеховка* – разработка межцеховых технологических маршрутов для всех составных частей изделия.

*Технологический маршрут* – последовательность прохождения заготовки детали или сборочной единицы по цехам и производственным участкам предприятия при выполнении технологического процесса изготов-

ления или ремонта. Различают межцеховой и внутрицеховой технологические маршруты.

*Средства технологического оснащения* – совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса.

*Технологическое оборудование* – средства технического оснащения, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещаются материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также технологическая оснастка.

*Технологическая оснастка* – средства технического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса.

*Приспособление* – технологическая оснастка, предназначенная для установки или направления предмета труда или инструмента при выполнении технологической операции.

*Инструмент* – технологическая оснастка, предназначенная для воздействия на предмет труда с целью изменения его состояния.

Технологическая подготовка производства проводится строго в соответствии с установленной государственными стандартами Единой системой организации и управления процессами технологической подготовки производства.

Стандартами Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) установлены общие положения по осуществлению ТПП новых изделий на основе широкого применения прогрессивных типовых и рабочих технологических процессов, стандартизованного технологического оборудования и оснастки, средств механизации и автоматизации инженерно-технических и управленческих работ. Стандартами определены основные требования к ТПП, порядок организации научных разработок в области ТПП, термины и определения основных понятий. Предусмотрены также правила организации и управления процессом ТПП, правила обеспечения технологичности конструкции деталей и сборочных единиц, правила разработки и применения технологических процессов и средств технологического оснащения.

В соответствии с ЕСТПП технологическая подготовка производства должна проводиться по календарному плану, применительно к установленному типу производства и организационно-технической структуре предприятия.

Организационную, информационную и техническую совместимость работ ТПП обеспечивают на основе применения: рациональных параметрических и типоразмерных рядов объектов производства (изделий), типовых конструкторско-технологических и организационных решений, требований действующей нормативно-технической документации, прогрессивных информационных технологий на основе единых баз конструкторско-

технологического назначения, методов информационного и математического моделирования процессов ТПП, методов сетевого планирования и управления ТПП и др.

В ЕСТПП документы оформляются в соответствии с ЕСТД, основное назначение которой состоит в установлении единых взаимосвязанных правил, норм, положений по оформлению, комплектации и обращению, унификации и стандартизации технологической документации.

Применение ЕСТПП повышает уровень использования типовых и стандартных технологических процессов с 14 до 160 %, позволяет сократить цикл ТПП и снизить затраты на ее проведение в 1,5-2 раза, повысить производительность труда исполнителей на 30-35 % в мелкосерийном и на 10-15 % в крупносерийном и массовом производствах, повысить технический уровень производства и качество изготовления продукции.

Направлениями сокращения трудоемкости и продолжительности ТПП являются технологическая унификация и стандартизация. В частности: типизация и нормализация технологических процессов; унификация технологической документации; групповые методы обработки; унификация оборудования и технологической оснастки.

Одним из основных направлений совершенствования ТПП является автоматизация выполнения работ на основе применения информационных технологий. Развитие информационных технологий позволило начать работы по созданию автоматизированных систем для решения задач проектирования изделий и их производства.

Для решения технологических задач в 1960-х годах начали создаваться автоматизированные системы технологической подготовки производства (АСТПП). АСТПП как подсистема входила в состав АСУП (Автоматизированной системы управления предприятием) и состояла из функциональных подсистем более низкого уровня, выделенных в соответствии с задачами, решаемыми в процессе ТПП: системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП); системы автоматизированного проектирования технологического оснащения (САПР ТО); системы автоматизированного проектирования производственных подразделений (САПР ОП) и системы управления технологической подготовкой производства (АСУТПП).

Начиная с 1980-х годов стали разрабатываться и применяться гибкие производственные системы.

Гибкая производственная система (ГПС) – управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящая из разных сочетаний гибких производственных модулей или ячеек, АСТПП и системы обеспечения ее функционирования. ГПС обладает важным свойством автоматизированной переналадки при изменении программы или смене объекта производства.

В конце 1980-х – начале 1990-х гг. начали создаваться компьютеризированные интегрированные производства (КИП). Англоязычный термин – CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Концепция КИП состояла в новом подходе к организации и управлению производством, заключающемся не только в применении компьютерных технологий для автоматизации техпроцессов, но и в создании интегрированной информационной системы предприятия. Информационная интеграция процессов достигалась путем использования общих баз данных.

До появления персональных компьютеров развитие АСТПП было ориентировано на разработку программных пакетов для выполнения задач технологической подготовки с использованием определенного класса ЭВМ применяемых на конкретном предприятии. Создание АСТПП на предприятии является сложной задачей, требующей использования значительных материальных и финансовых средств.

В настоящее время автоматизация технологического проектирования производится с помощью отдельных программных систем, устанавливаемых на персональных компьютерах и предназначенных для выполнения определенных работ. Это создает возможности их широкого использования на предприятиях, но приводит к проблемам во взаимодействии между различными программными системами, применяемыми в процессе ТПП.

Задачи обеспечения взаимодействия между различными автоматизированными системами при выполнении работ ТПП, а также их интеграции с системами, применяемыми для проектирования изделий, обеспечения документооборота и управления процессами предприятия, взаимодействия с поставщиками и заказчиком, организации послепродажного обслуживания, решаются в настоящее время в рамках концепции CALS-технологий.

Понятие CALS появилось в середине 1980-х гг. в оборонном комплексе США. Первоначально CALS создавалась для решения вопросов снабжения и понималась как компьютерная поддержка поставок и логистики (CALS – Computer Aided Logistics Systems).

С развитием информационных технологий сфера применения CALS расширилась на все этапы жизненного цикла изделия и в настоящее время в России используется второе понятие – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий (CALS – Continuous Acquisition and Life cycle Support). Русскоязычным эквивалентом термина CALS является аббревиатура ИПИ – информационная поддержка изделий.

В последнее время появилась еще одна трактовка CALS: Commerce At Light Speed – высокоскоростная коммерция (быстрая коммерция).

Эта трактовка связана с постоянно расширяющейся сферой применения электронного бизнеса (e-business) или электронной коммерции (e-commerce), суть которых в том, что коммерческие сделки заключаются посредством глобальной сети Интернет.

CALS – концепция, объединяющая принципы и технологии информационной поддержки жизненного цикла продукции на всех его стадиях, основанная на использовании интегрированной информационной среды, обеспечивающая единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла (заказчиков, поставщиков, производителей, эксплуатационного и ремонтного персонала), реализованная в соответствии с требованиями международных стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными [15].

Концепция CALS является стратегией повышения эффективности процессов, выполняемых на всех этапах жизненного цикла изделий (ЖЦИ) за счет интеграции и преемственности информации. Средствами реализации этой стратегии являются CALS-технологии, в основе которых лежит набор интегрированных информационных моделей – самого ЖЦИ и выполняемых в его ходе процессов, изделий, производственной и эксплуатационной среды и пр. Возможность совместного использования информации обеспечивается применением компьютерных сетей и стандартизацией форматов данных.

CALS-технологии состоят из набора приемов, методических и программных инструментов. К методическим инструментам относят прежде всего комплект международных и национальных стандартов, регламентирующих представление изделия и его ЖЦИ на концептуальном и логическом уровнях. Использование стандартов обеспечивает интеграцию данных за счет унификации их представления.

К программным инструментам относятся автоматизированные системы, которые используются при выполнении работ на этапах ЖЦИ.

В настоящее время при выполнении работ по ТПП применяется достаточно большое количество автоматизированных систем.

Разработаны и применяются программные системы (САМ-системы) для подготовки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, например, SprutCAM, EdgeCAM и т.д. Для автоматизации проектирования технологических процессов разработаны десятки программных систем, например ТехноПро, ВЕРТИКАЛЬ-Технология, ТеМП АСП и др.

Разработаны программные интегрированные комплексы, состоящие из отдельных прикладных программ или модулей для выполнения конструкторских работ, инженерных расчетов, в частности, для анализа конструкций методом конечных элементов, разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ. В качестве примеров таких комплексов можно привести интегрированный комплекс программ T-FLEX (рис. 1.1), CAD/CAE/CAM-систему UNIGRAPHICS, систему КОМПАС и др.

При решении задач планирования ТПП используются системы управления проектами, например MS Project, Primavera и др.



Рис. 1.1. Структура программного комплекса T-FLEX

В настоящее время развитие комплексных программных систем идет за счет интеграции программ для выполнения работ на различных этапах жизненного цикла изделий, в частности, функции комплекса T-FLEX расширены до уровня системы PLM (Product Life cycle Management – управление жизненным циклом).

## 1.2. Классификация технологических процессов

**Технологический процесс** (ГОСТ 3.1109-82) – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и/или определению состояния предмета труда. К предметам труда относятся заготовки и изделия.

**Операция** – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Технологическая операция может быть *простой* и *сложной*. Простой называют операцию, выполняемую одним рабочим, сложной – выполняемую одновременно несколькими рабочими.

Простыми являются, например, операции, выполненные при изготовлении деталей на металлорежущих станках или прессах. Примером сложных операций могут служить сборочные операции.

Операция может выполняться в один или несколько установов.

*Установ* – это часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

Обрабатываемая заготовка или собираемый узел могут менять свое положение относительно рабочих элементов оборудования, занимая различные позиции.

*Позиция* – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.

Технологические операции состоят из технологических и вспомогательных переходов.

*Технологический переход* – законченная часть операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установках.

*Вспомогательный переход* – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и качества поверхности, но необходимы для выполнения технологического перехода.

Технологический переход может иметь несколько рабочих ходов.

*Рабочий ход* – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки.

*Вспомогательный ход* – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, необходимого для подготовки рабочего хода.

Технологические процессы классифицируются по следующим признакам.

- ***по форме организации процесса:***

*единичный технологический процесс* – технологический процесс изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от *типа* производства;

*типовой технологический процесс* – технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими

признаками. Используется при разработке рабочего технологического процесса;

*групповой технологический процесс* – технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками;

- **по освоенности процесса:**

*рабочий технологический процесс* – процесс изготовления одного или нескольких изделий в соответствии с требованиями принятой для данных условий производства рабочей документации;

*перспективный технологический процесс* – технологический процесс, разрабатываемый как информационная основа для проектирования рабочих процессов при техническом и организационном перевооружении производства, предусматривающем применение более совершенных методов обработки, более производительных и экономически эффективных средств оснащения и изменение принципов организации производства.

Технологические процессы могут быть проектными, стандартными и временными.

*Проектный технологический процесс* – это технологический процесс, выполняемый по предварительному проекту технологической документации.

*Временный технологический процесс* – это технологический процесс, применяемый на предприятии в течение ограниченного периода времени из-за отсутствия необходимого оборудования или в связи с аварией до замены на более современный.

*Стандартный технологический процесс* – это технологический процесс, установленный стандартом и выполняемый по рабочей технологической документации, оформленной стандартом (ОСТ, СТП), и относящийся к конкретному оборудованию, режимам обработки и технологической оснастке.

По **степени детализации описания технологических процессов** различают:

*маршрутное описание технологического процесса* – сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания режимов обработки и технологических переходов.

*операционное описание технологического процесса* – полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и режимов обработки.

*маршрутно-операционное описание технологического процесса* – сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах.



### 1.3. Технологическая документация

Содержание технологических процессов раскрывается в технологической документации.

**Технологическая документация** – текстовые или графические документы, которые содержат данные для организации производственного процесса и определяют технологию изготовления изделия.

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

**Основные технологические документы** содержат информацию, необходимую для решения одной или комплекса инженерно-технических, планово-экономических и организационных задач, а также полностью и однозначно определяющие технологический процесс изготовления или ремонта изделия. Основные технологические документы подразделяют на документы общего и специального назначения.

**Документы общего назначения** – документы, применяемые в отдельности или в комплектах документов на технологические процессы (операции), независимо от применяемых технологических методов изготовления или ремонта изделий.

Комплект документов технологического процесса (операции) – совокупность технологических документов, необходимых и достаточных для выполнения технологического процесса (операции).

К документам общего назначения относятся:

- *титульный лист* (ТЛ) – предназначен для оформления комплекта(ов) технологической документации на изготовление или ремонт изделия. Является первым листом комплекта(ов) технологических документов;
- *карта эскизов* (КЭ) – графический документ, содержащий эскизы, схемы и таблицы, предназначенные для пояснения выполнения технологического процесса, операции или перехода изготовления, или ремонта изделия, включая контроль и перемещения;
- *технологическая инструкция* (ТИ) – документ, предназначенный для описания технологических процессов, методов и приемов, повторяющихся при изготовлении изделий, правил эксплуатации средств технологического оснащения, используется в целях сокращения объема разрабатываемой технологической документации.

**Документы специального назначения** – документы, применяемые при описании технологических процессов и операций в зависимости от типа и вида производства и применяемых технологических методов изготовления или ремонта изделия.

Рассмотрим некоторые виды документов специального назначения.

**Маршрутная карта** (МК) – документ, предназначенный для маршрутного или маршрутно-операционного описания технологического про-

цесса или указания полного состава технологических операций при операционном описании изготовления или ремонта изделия, включая контроль и перемещения по всем операциям различных технологических методов в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, технологической оснастке, материальных нормативах и трудовых затратах.

*Карта технологическая процесса (КТП)* – документ, предназначенный для операционного описания технологического процесса изготовления или ремонта изделия в технологической последовательности по всем операциям одного вида работ, с указанием переходов, технологических режимов и данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых затратах;

*Операционная карта (ОК)* – документ, содержащий описание технологической операции с указанием последовательного выполнения переходов, данных о средствах технологического оснащения, режимов и трудовых затратах. Применяется при разработке единичных технологических процессов.

*Карта типового (группового) технологического процесса (КТТП)* – документ, содержащий описание типового (группового) технологического процесса изготовления или ремонта группы деталей в технологической последовательности с указанием операций, переходов и соответствующих данных о средствах технологического оснащения и материальных нормативах. Применяется совместно с ВТП.

*Ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому (групповому) технологическому процессу (операции) (ВТП)* – документ, предназначенный для указания состава деталей (сборочных единиц) изготавливаемых или ремонтируемых по типовому (групповому) технологическому процессу (операции), и данных о материале, средствах технологического оснащения, режимах обработки и затратах.

*Комплектовочная карта (КК)* – документ, содержащий данные о деталях, сборочных единицах, входящих в комплект изделия.

*Паспорт технологический (ПТ)* – документ, в котором указываются наименования выполняемых операций техпроцесса, исполнители и контролирующие лица.

*Ведомость технологических документов (ВТД)* – документ, предназначенный для указания полного состава документов, необходимых для изготовления или ремонта изделий.

*Ведомость оснастки (ВО)* – документ, предназначенный для указания применяемой оснастки при выполнении технологического процесса изготовления или ремонта изделия.

**К вспомогательным документам** относятся документы, применяемые при разработке, внедрении и функционировании технологических

процессов и операций, например, карта заказов на проектирование технологической оснастки, акт внедрения технологического процесса и др.

Технологические карты имеют различные формы. Выбор и установление области применения соответствующих форм зависят от разрабатываемых видов технологических процессов, назначения формы в составе комплекта документов и применяемых методов проектирования.

Вопросы выбора форм и правила оформления технологических карт регламентируются требованиями стандартов.

Наименования операций следует записывать в документах в сокращенной или полной форме. При применении сокращенной формы наименование операции следует записывать именем существительным в именительном падеже. Исключение составляют такие наименования операций, как «Слесарная», «Сверлильная» и т. п.

При записи операций допускается применять обобщенное или конкретное наименование, например, «Сборка», «Опиловка».

Обобщенное наименование операций следует применять для операций, состоящих из нескольких переходов, например, «Слесарная» – операция, включающая выполнение таких переходов, как «Разметка», «Керновка», «Опиловка».

Запись содержания операций следует выполнять в форме маршрутного или операционного описания.

При разработке документов следует отражать все необходимые и средства безопасности труда.

Для изложения технологических процессов в картах используют способ заполнения, при котором информацию вносят построчно несколькими типами строк. Каждому типу строки соответствует свой служебный символ.

Служебные символы условно выражают состав информации, размещаемой в графах данного типа строки формы документа, и предназначены для обработки содержащейся информации средствами механизации и автоматизации. Постановка символов является обязательной и не зависит от применяемого метода проектирования документов.

В качестве обозначения служебных символов приняты буквы русского алфавита, проставленные перед номером соответствующей строки и выполняемые прописной буквой, например М01, А12 и т.д.

Обозначение и назначение некоторых служебных символов представлены в табл. 1.1.

Заполнение информацией строк, имеющих служебный символ О, следует выполнять в соответствии с требованиями стандартов, устанавливающих правила записи операций и переходов. Запись следует выполнять в технологической последовательности по всей длине строки с возможностью, при необходимости, переноса информации на последующие строки.

Таблица 1.1

## Обозначения служебных символов и состав информации

Обозначение служебного символа	Содержание информации вносимой в графы строки
А	Номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция, номер операции, код и наименование операции, обозначение документов (применяется только для форм с горизонтальным расположением поля подшивки)
Б	Код, наименование оборудования и информация по трудозатратам (применяется только для форм с горизонтальным расположением поля подшивки)
Д	Код, наименование оборудования (применяется только для форм с вертикальным расположением поля подшивки)
М	Информация о применяемом основном материале и исходной заготовке
О	Содержание операции (перехода)
Т	Информация о применяемой при выполнении операции технологической оснастке
Р	Информация о технологических режимах обработки

При заполнении информации на строках, имеющих служебный символ Т, следует выполнять требования соответствующих классификаторов, стандартов на кодирование (обозначение) и наименование технологической оснастки.

В содержание операции (перехода) должны быть включены:

- ключевое слово – наименование действия, включающего определенные методы обработки или сборки изделия, и выраженное глаголом в неопределенной форме;
- дополнительная информация, характеризующая число обрабатываемых элементов поверхностей (например, сверлить 3 отверстия);
- наименование предметов производства, обрабатываемых поверхностей и конструктивных элементов;
- информация о размерах или их условных обозначениях, приведенных на операционных эскизах и др.

При проектировании технологических процессов допускается полная и сокращенная запись содержания или перехода.

Размеры граф, наименование (условное обозначение) и содержание граф технологических карт и т. п. регламентируются стандартами ЕСТД.

Учебный пример оформления маршрутной карты техпроцесса сборки панели отсека фюзеляжа самолета представлен на рис. 1.2.

Дублик.	Взам.	Подлин.														
МК																
			6													
А	Цех	Уч.	Рм	Опер.	Код, наименование операции			Обозначение документа					Т шт.			
Б	Код, наименование оборудования				См.	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Т пз	Т шт.	
К/М	Наименование сб. единицы или материала				Обозначение, код											Н.расх
А <sup>01</sup>	20	302			Сборка панели в приспособлении. Проверка наличия клейм приемки БТК деталей перед сборкой											
02	Комплект деталей и нормалей согласно комплектовочной карте.															
03																
Б <sup>04</sup>	Сб. клеп 4 1,37 2															
05																
О <sup>06</sup>	1. Установить в приспособление шпангоут 33 = 1 шт., сегмент шпангоута 36 = 1 шт.,															
07	фиксировать шп. 33 фиксаторами приспособления по БО Ø 28, сегмент шп. 36 по БО Ø 4															
08	(см. эскиз № 1) согласно КД.															
09																
Р <sup>10</sup>	$N_{исп} = 2; YP = 1; N_{шп} = 2$ шт.; $M_{шп 33} = 35,2$ кг; $ГУ_{шп 33} = 3200 \times 1200 \times 65$ мм; $M_{шп 36} = 3,9$ кг;															
11	$ГУ_{шп 36} = 2900 \times 1200 \times 45$ мм; $N_{фикс} = 5; \emptyset_{фикс} = 28$ (3 шт.); $\emptyset_{фикс} = 4$ (2 шт.); $L_{перемещ} = 20$ м															
12																
МК			Сборка панели отсека фюзеляжа													

Рис. 1.2. Пример оформления маршрутной карты

Информацию о применяемой технологической оснастке записывают в следующей последовательности: приспособления, вспомогательный инструмент, режущий инструмент, слесарно-монтажный инструмент, специальный инструмент, средства измерения.

Запись следует выполнять по всей длине строки с возможностью, при необходимости, переноса информации на последующие строки. Разделение информации по каждому средству технологической оснастки следует выполнять через знак «точка с запятой». Количество одновременно применяемых единиц технологической оснастки следует указывать после обозначения оснастки, заключая в скобки.

Допускается выполнять запись технологической оснастки с применением условных обозначений, например, приспособление – ПР, вспомогательный инструмент – ВИ, режущий инструмент – РИ, средства измерения – СИ и др.

При разработке документов следует указать код степени механизации труда, разряд работы, код условий труда, количество исполнителей и другую информацию, связанную с выполнением техпроцесса.

### **Контрольные вопросы**

- 1) *Дайте определение понятия «технологическая подготовка производства».*
- 2) *Дайте определение понятия «технологическая готовность предприятия».*
- 3) *Дайте определение понятия «технологический маршрут».*
- 4) *Назовите виды технологических процессов в соответствии с классификацией.*
- 5) *Дайте определение понятия «маршрутное описание технологического процесса».*
- 6) *Дайте определение понятия «операционное описание технологического процесса».*
- 7) *Каково назначение и в чем заключается сущность Единой системы технологической подготовки производства?*
- 8) *Укажите направления развития автоматизированных систем для выполнения работ на этапах технологической подготовки производства.*
- 9) *Назовите примеры интегрированных программных систем.*
- 10) *Дайте определение понятия «технологическая документация».*
- 11) *Какие документы относятся к документам общего назначения?*
- 12) *Какие технологические документы относятся к документам специального назначения?*
- 13) *Каково назначение маршрутной карты?*
- 14) *Каково назначение операционной карты?*

## 2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ

### 2.1. Основные понятия и определения

**Технологичность конструкции изделия (ТКИ)** – совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Технологичность конструкции изделия выражает не функциональные свойства изделия, а его конструктивные особенности.

Технологичность подразделяют на три вида: производственную, эксплуатационную и ремонтную.

*Производственная технологичность* – технологичность конструкции изделия при технологической подготовке производства, изготовлении, а также монтаже на предприятии-изготовителе.

*Эксплуатационная технологичность* – технологичность конструкции изделия при подготовке его к использованию по назначению, техническому обслуживанию, текущему ремонту и утилизации.

*Ремонтная технологичность* – технологичность конструкции изделия при всех видах ремонта, кроме текущего.

*Обеспечение технологичности конструкции изделия* – функция подготовки производства, включающая комплекс взаимосвязанных мероприятий по управлению технологичностью и совершенствованию условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий.

Обеспечение технологичности конструкции предусматривает:

- отработку конструкции изделий на технологичность на всех стадиях разработки изделия, при технологической подготовке производства и в обоснованных случаях при изготовлении изделия;
- совершенствование условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий и фиксацию принятых решений в технологической документации;
- количественную оценку технологичности конструкции изделий;
- технологический контроль конструкторской документации;
- подготовку и внесение изменений в конструкторскую документацию по результатам технологического контроля, обеспечивающего достижение базовых значений показателей технологичности.

*Целью отработки конструкции на технологичность* является повышение производительности труда, снижение затрат и сокращение времени на технологическую подготовку производства, на изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия при обеспечении необходимого качества изделия.

Отработка конструкции изделия на технологичность должна обеспечивать на основе достижения технологической рациональности и оптимальной конструктивной технологической преемственности конструкции изделия решение следующих основных задач:

- снижения трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и его монтаже вне предприятия-изготовителя;
- снижения трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта изделия;
- снижения важнейших составляющих общей материалоемкости изделия – расхода металла и топливно-энергетических ресурсов при изготовлении, монтаже вне предприятия-изготовителя, техническом обслуживании и ремонте.

*Технологическая рациональность конструкции* характеризует возможность изготовления и эксплуатации данного изделия или группы его исполнений при использовании имеющихся в распоряжении производителя и потребителя продукции трудовых, материальных и других видов ресурсов.

*Конструктивно-технологическая преемственность* рассматривается в виде совокупности свойств, обеспечивающих применяемость и повторяемость конструктивно-технологических решений при проектировании и изготовлении изделий.

При проведении отработки конструкции изделия на технологичность следует учитывать:

- вид изделия, степень его новизны и сложности, условия изготовления, технологию обслуживания и ремонта, а также монтажа вне предприятия-изготовителя;
- перспективность изделия, объем его выпуска;
- передовой опыт предприятия-изготовителя и других предприятий с аналогичным производством, новые высокопроизводительные методы и процессы изготовления;
- оптимальные условия конкретного производства при рациональном использовании имеющихся средств технологического оснащения и производственных площадей и планомерного внедрения новых передовых технологических методов и средств производства;
- связь достигнутых показателей технологичности с другими показателями качества изделия.

Отработка конструкции на технологичность производится совместно разработчиками конструкторской и технологической документации, предприятиями-изготовителями и представителями заказчика.

Основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкции изделия в зависимости от стадии разработки конструкторской документации устанавливается стандартами. Оценку технологичности конструкции изделия производят качественным и количественным способами.



## 2.2. Качественная оценка технологичности конструкции изделий

*Качественная оценка* определяет ТКИ с позиций ее соответствия основным общим и специальным технологическим требованиям.

Этот вид оценки технологичности конструкции основан на применении инженерно-визуальных методов и проводится по отдельным конструктивным и технологическим признакам в общих определениях (высокая – низкая, рационально – нерационально, удобно – неудобно, лучше – хуже, прямолинейная – криволинейная и т. п.).

Качественная сравнительная оценка вариантов конструкции допустима на всех стадиях проектирования, когда осуществляется выбор лучшего конструктивного решения и не требуется определение степени различия технологичности сравниваемых вариантов.

Качественная оценка при сравнении вариантов конструкций в процессе проектирования предшествует количественной оценке.

При качественной оценке технологичности *детали* выполняют:

- 1) оценку материала детали и условий обработки с точки зрения выбора рационального процесса изготовления;
- 2) оценку формы, размеров, качества поверхностей и точности с точки зрения возможностей использования наиболее рационального в производственных условиях процесса изготовления;
- 3) оценку обоснованности заданных допусков и требований к качеству поверхности с точки зрения условий работы детали в узле.

Рассмотрим некоторые технологические требования к деталям в зависимости от метода их изготовления.

К деталям, изготавливаемым с помощью *механической обработки*, предъявляют следующие требования:

- совмещение конструкторских и технологических баз;
- возможность изготовления деталей из заготовок с формой, максимально близкой к форме окончательного изделия;
- обеспечение простого, удобного и надежного закрепления заготовки этой детали на станке;
- соответствие размеров поверхностей детали нормальному ряду длин и диаметров, что позволяет изготавливать их стандартным инструментом;
- обеспечение удобного подхода режущего инструмента к обрабатываемым поверхностям;
- возможность применения наиболее производительных способов механической обработки;
- четкое разделение поверхностей, обрабатываемых на различных операциях, различным инструментом и с разной степенью точности;
- наличие удобных баз для контроля размеров изделия.

К деталям, изготавливаемым с помощью *литья*, предъявляют следующие требования:

- сводить к минимуму механическую обработку литых деталей;
- конструкция отливки должна обеспечивать простое и удобное изготовление формы;
- упрощать форму отливок, контуры деталей и внутренних полостей рекомендуется образовывать простейшими линиями – прямыми, дугами окружностей и т. д.;
- учитывать сокращение размеров отливки при остывании (усадку);
- форма отливки должна обеспечивать всплывание неметаллических включений и выход газов, выделяющихся при остывании отливки;
- избегать выполнения в литье отверстий малого диаметра и большой длины;
- стенки отливок должны иметь наименьшую толщину, допускаемую условиями литья и прочности детали.

К деталям, изготавливаемым *штамповкой*, предъявляют следующие требования:

- конструкторская база любого элемента детали должна быть выбрана таким образом, чтобы ее можно было использовать в качестве технологической;
- для всех элементов детали, штамповка которых осуществляется в одном штампе, должна быть выбрана одна конструкторская база (для установки размеров одного направления), она принимается при базировании в штампе в качестве опорной базы;
- выбор конструкторских баз и простановка размеров должны осуществляться таким образом, чтобы максимальное число элементов детали можно было штамповать на стадии изготовления плоской заготовки (до формоизменяющих операций, таких как гибка, вытяжка и т.д.);
- размеры выступов, впадин, сопряжений и отверстий плоских деталей должны быть не ниже наименьших значений, рекомендуемых в справочной литературе.

Качественная оценка технологичности *сборочной единицы* предусматривает:

- 1) анализ формы, размеров и показателей точности сборочной единицы и входящих в нее элементов;
- 2) анализ материалов, из которых изготовлены элементы сборочной единицы;
- 3) анализ конструкции сборочной единицы и входящих в нее элементов;
- 4) оценку возможности механизации и автоматизации сборочных операций.

Качественная оценка технологичности конструкции сборочной единицы проводится по следующим критериям:

- сложность геометрической формы (образована линейчатыми и нелинейчатыми поверхностями, в форме тел вращения и т. д.);
- рациональность технологического членения (возможность дифференциации сборочных работ);
- требования к точности и взаимозаменяемости контуров изделия (контуров обводов, стыков, продольного и поперечного набора);
- возможность использования одной из составных частей в качестве базовой для расположения остальных частей;
- возможность сборки без промежуточных разборок;
- возможность применения типовых технологических процессов сборки;
- возможность применения прогрессивных методов сборки;
- возможность применения компенсации при сборке;
- свободный подход к соединяемым агрегатам по разъемам и стыкам;
- свободный подход к соединениям, местам контроля и регулировки;
- степень соответствия размеров изделия технологическим возможностям оборудования;
- конструктивные выполнения соединений (вид соединения, прямолинейные швы, нормализованный шаг заклепок, и т. д.);
- конструктивное выполнение деталей каркаса (постоянные или переменные малки, наличие подсечек и т. д.);
- применение монолитных панелей;
- расположение элементов конструкции (параллельно, по процентным линиям, в плоскостях, проходящих через ось и т. д.);
- применение стандартных и унифицированных элементов;
- вид применяемых материалов и их технологические свойства;
- конструктивное выполнение стыков и их технологические свойства.

Обеспечение качественных требований к технологичности конструкций является необходимым, но недостаточным условием отработки конструктивно-технологических решений при создании изделий. Окончательное решение по выбору наиболее технологичного варианта изделия может быть принято только по результатам количественной оценки технологичности конструкции.

### **2.3. Количественная оценка технологичности конструкции изделий**

**Количественная оценка** ТКИ основана на применении инженерно-расчетных методов и требует наличия специальной системы показателей и методов их расчета.

Необходимость количественной оценки ТКИ, а также номенклатура показателей и методика их определения устанавливается в зависимости от вида изделия, типа производства и стадии разработки конструкторской документации отраслевыми стандартами или стандартами предприятий.

Количество показателей должно быть минимальным, но *достаточным* для оценки технологичности конструкции.

Количественная оценка ТКИ производится с помощью базовых, частных и комплексных показателей.

*Базовый показатель* – показатель, принятый за исходный при оценке технологичности.

*Частный показатель* – показатель технологичности, характеризующий одно из входящих в нее свойств.

*Комплексный показатель* – показатель технологичности, характеризующий несколько входящих в нее частных или комплексных свойств.

По способу выражения показатели технологичности могут быть *абсолютными* или *относительными*.

Состав базовых показателей, их оптимальные значения и предельные отклонения устанавливаются отраслевыми стандартами с учетом тенденций развития данной и смежных областей техники, данных научного и инженерного прогнозирования, показателей аналогов составных частей изделия, данных различных достоверных источников информации. Оптимальные значения базовых показателей технологичности указывают в техническом задании на разработку изделия.

Базовые (исходные, плановые) и достигнутые показатели, а также показатели уровня ТКИ вносят в карту технического уровня и качества изделия.

Уровень ТКИ определяется отношением *показателя технологичности разрабатываемой конструкции* к соответствующему *базовому показателю*.

Количественные показатели подразделяются на следующие группы.

*Показатели технологической рациональности конструкции изделия* отражают рациональность состава и структуры исполнения изделия, принятых конструктивных форм и материалов. К ним, например, относятся коэффициенты: сложности конструкции изделия, сборности, легкосъемности составных частей, доступности мест обслуживания, контролепригодности и др.

*Показатели преемственности конструкции изделия* отражают конструктивную и технологическую преемственность изделия, изменяемость и повторяемость его составных частей и их компоновок, его конструктивных элементов и материалов. К ним, например, относятся коэффициенты: новизны конструкции изделия, применяемости унифицированных или

стандартных составных частей изделия, применяемости материала в изделии, типизация конструктивного исполнения и др.

*Показатели ресурсоемкости изделия* отражают комплексную (общую) или частную (единичную) ресурсоемкость определенного вида. Показатели ресурсоемкости используют преимущественно для определения величины затрат ресурсов (труда, материалов, энергии, времени и др.) в той или иной области проявления.

К *показателям производственной* ТКИ относятся: трудоемкость изделия в изготовлении, трудоемкость изделия в монтаже вне предприятия-изготовителя, материалоемкость изделия в изготовлении, энергоемкость изделия в изготовлении, продолжительность подготовки производства, продолжительность изготовления изделия, технологическая себестоимость.

*Показатели эксплуатационной* ТКИ: трудоемкость изделия в эксплуатации, трудоемкость изделия в техническом обслуживании; трудоемкость изделия в монтаже (демонтаже), материалоемкость изделия в эксплуатации, энергоемкость изделия в эксплуатации, продолжительность технического обслуживания изделия, технологическая себестоимость изделия в эксплуатации, трудоемкость изделия в утилизации.

*Показатели ремонтной* ТКИ: трудоемкость изделия в ремонте, материалоемкость изделия в ремонте; энергоемкость изделия в ремонте, продолжительность ремонта изделия, технологическая себестоимость ремонта изделия.

*Показатели общей* ТКИ (по всем областям проявления): удельная трудоемкость изделия, удельная материалоемкость изделия, удельная энергоемкость изделия, удельная технологическая себестоимость изделия.

В общем случае для определения ТКИ используют следующие расчетные зависимости [27]:

общий (суммарный) показатель ТКИ

$$K = K_1 + K_2 + \dots + K_I = \sum_{i=1}^I K_i ;$$

структурный показатель ТКИ

$$K_{cm} = \sum_{n=1}^N K_n ;$$

удельный показатель ТКИ

$$K_{y\delta} = K/P ;$$

относительный показатель ТКИ

$$K_{отн} = K_i/K ;$$

сравнительный показатель ТКИ

$$K_{cp} = K/K_{\bar{b}} ,$$

где  $I$  – общее число рассматриваемых свойств, образующих ТКИ;  $N$  – выборочное число свойств из общей совокупности свойств, образующих ТКИ;  $P$  – главный (определяющий) параметр изделия или реализуемый им полезный эффект;  $K_{\sigma}$  – базовый показатель ТКИ.

По значимости показатели технологичности делятся на основные и дополнительные.

**Основными** показателями технологичности являются:

- 1) абсолютное значение трудоемкости изготовления изделия  $T_{И}$ ;
- 2) абсолютное значение технологической себестоимости изготовления изделия  $C_{Т.И}$ ;
- 3) показатель уровня технологичности по трудоемкости

$$K_T = T_{И} / T_{И.Б} ,$$

где  $T_{И}$  – ожидаемая трудоемкость нового изделия;  $T_{И.Б}$  – трудоемкость базового изделия;

- 4) показатель уровня технологичности по технологической себестоимости

$$K_{СТ} = C_{Т.И} / C_{Т.И.Б} ,$$

где  $C_{Т.И}$  – ожидаемая технологическая себестоимость нового изделия;  $C_{Т.И.Б}$  – технологическая себестоимость базового изделия.

**Дополнительные** показатели технологичности:

- 1) удельная трудоемкость изготовления изделия

$$t_{И} = T_{И} / P ,$$

где  $P$  – значение основного технического параметра (масса, объем, грузоподъемность и т.д.);

- 2) относительная трудоемкость вида технологического процесса (механообработка, штамповка и т.д.)

$$t_{В.Т} = T_{В.Т} / T_{И} ,$$

где  $T_{В.Т}$  – трудоемкость данного вида технологического процесса изготовления деталей или сборки;

- 3) удельная технологическая себестоимость

$$C_T = C_{Т.И} / P ;$$

- 4) коэффициент стандартизации сборочных единиц изделия

$$K_{С.С} = N_{С.С} / N_C ,$$

где  $N_{С.С}$  – количество стандартных сборочных единиц;  $N_C$  – общее количество сборочных единиц;

- 5) коэффициент стандартизации деталей

$$K_{С.Д} = N_{С.Д} / N_D ,$$

где  $N_{с.д}$  – количество стандартных деталей;  $N_{д}$  – общее количество деталей;

6) коэффициент использования материала

$$K_{и.м} = M_{и} / M_{з} ,$$

где  $M_{и}$  – масса изделия;  $M_{з}$  – масса заготовки;

7) коэффициент применения типовых технологических процессов

$$K_{т.п} = N_{т.п} / N_{п} ,$$

где  $N_{т.п}$  – число типовых технологических процессов;  $N_{п}$  – общее число технологических процессов.

Кроме того, в самолетостроении применяются специфичные показатели:

1) коэффициент панелирования

$$K_{п} = F_{п} / F_{п.л} ,$$

где  $F_{п}$  – площадь панелей, выделенных в отдельные сборочные единицы;  $F_{п.л}$  – площадь поверхности планера;

2) коэффициент прессовой клепки

$$K_{пр} = N_{к.п} / N_{о} ,$$

где  $N_{к.п}$  – количество заклепок, расклепывание которых можно выполнить на клепальных прессах;  $N_{о}$  – общее количество заклепок.

Результатом количественной оценки ТКИ с использованием инженерно-расчетных методов является формирование целевой функции  $Z$  и алгоритма обеспечения ТКИ, пригодных для принятия решений по совершенствованию конструкции изделия.

Наиболее распространены методы абсолютной, относительной и разностной оценки ТКИ, т. е. оценки, выполняемой по результатам вычисления следующих показателей:

абсолютного показателя ТКИ

$$K = (K_1, \dots, K_N) ;$$

сравнительного показателя (уровня) ТКИ

$$K_y = K / K_{\sigma} ;$$

разностного показателя ТКИ

$$\Delta K' = | K - K_{\sigma} | ;$$

$$\Delta K'' = | 1 - K_y | .$$

Целевая функция обеспечения ТКИ для рассматриваемых случаев её количественной оценки соответственно имеет вид:

$$Z_a : K \rightarrow K_{\sigma} ; \quad Z_c : K_y \rightarrow 1 ;$$

$$Z'_p : \Delta K' \rightarrow 0 ; \quad Z''_p : \Delta K'' \rightarrow 0 .$$

## 2.4. Автоматизация процессов обработки на технологичность конструкции изделий

Автоматизация обеспечения ТКИ является сложным процессом, связанным с применением моделирования конструкции изделия, процессов конструирования, технологической подготовки производства, изготовления, эксплуатации и ремонта изделия. Это длительная и трудоемкая работа, связанная с решением большого количества разнообразных задач, иногда трудно формализуемых.

В настоящее время обработка конструкции изделий на технологичность выполняется решением отдельных задач при проектировании конструкции, разработке технологических процессов, при проектировании технологического оснащения в соответствующих специальных программных системах, или модулях комплексных систем.

В интегрированной системе ADEM имеются функции предварительного анализа технологичности деталей для механообработки, которые встроены в конструкторский модуль [7]. Применение этих функций позволяет конструктору правильно спроектировать деталь и снизить вероятность ошибки при подсчете массы будущего изделия.

Например, наличие необработанных зон в виде скруглений между стенками и дном колодца зависит от формы инструмента. Выбор инструмента, в свою очередь, находится в непосредственной зависимости от формы колодца (рис. 2.1).

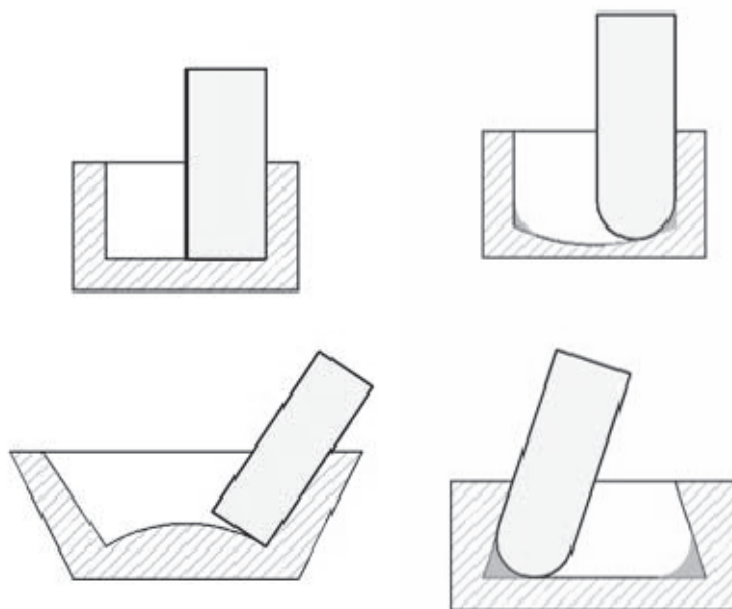


Рис. 2.1. Влияние геометрии колодца на выбор формы инструмента

При вогнутой поверхности дна или закрытом угле (менее  $90^\circ$ ) между дном и стенками применение цилиндрической фрезы для чистовой обработки невозможно, а обработка сферической фрезой оставляет необра-



ботанные зоны между дном и стенками. Подобные ограничения можно учесть на самой ранней стадии проектирования и внести необходимые изменения в геометрию детали. Анализ основан на исследовании топологии и геометрии модели и учитывает только объективные технологические ограничения. То есть результат этого анализа ни в коей мере не зависит от последовательности технологических переходов, стратегий и параметров, которые назначит тот или иной технолог для получения изделия.

Общая схема работы:

1) На основе топологии и геометрии модели система распознает технологические объекты (колодцы, отверстия, пазы и т.п.) и разделяет их на две категории:

- объекты, которые можно обработать цилиндрической фрезой;
- объекты, которые невозможно обработать цилиндрической фрезой.

Такую возможность, как смена инструмента в рамках одного конструктивного элемента, данная функция не рассматривает.

2) Система по алгоритму производит изменение модели с учетом безусловных технологических ограничений, свойственных плоскому и объемному фрезерованию. При этом вычисляется увеличение массы по сравнению с исходной моделью, количество объектов для плоского и объемного фрезерования, количество позиций на станке и другие параметры.

На рис. 2.2 представлены изображения детали до использования функции и после ее применения.

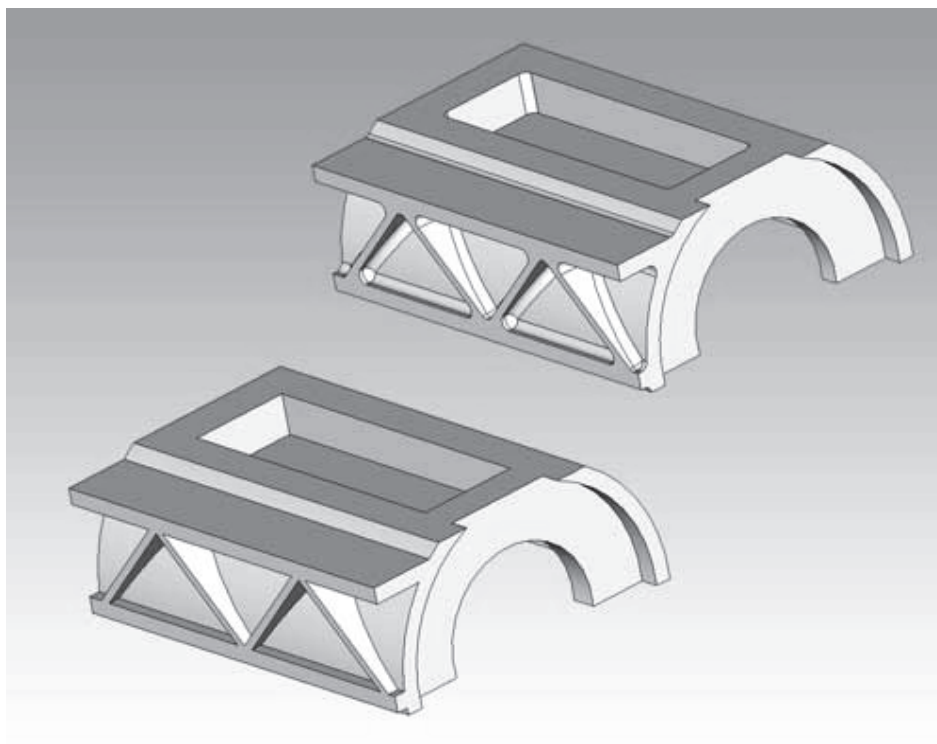


Рис. 2.2. Результат применения функции

Как видно из примера, приведенного на рис. 2.2, система модифицировала модель и добавила необработанные зоны в виде скруглений в тех местах, где они получатся в результате механической обработки. Например, в колодце на верхней части детали появились необработанные зоны, характерные для плоского фрезерования цилиндрической фрезой. В треугольных колодцах на боковой части добавились необработанные зоны, характерные для объемного фрезерования сферической фрезой. Отличия новой конструкции приведут к возрастанию объема (массы) по сравнению с исходной моделью. В данном примере это отличие составляет не более 3 % от массы детали, но при работе с тонкостенными изделиями разница может превышать 10-процентный порог. Например, сравнение двух вариантов цилиндрической панели, подкрепленной ребрами (рис. 2.3) показало, что отличие в массе составляет 12 % .

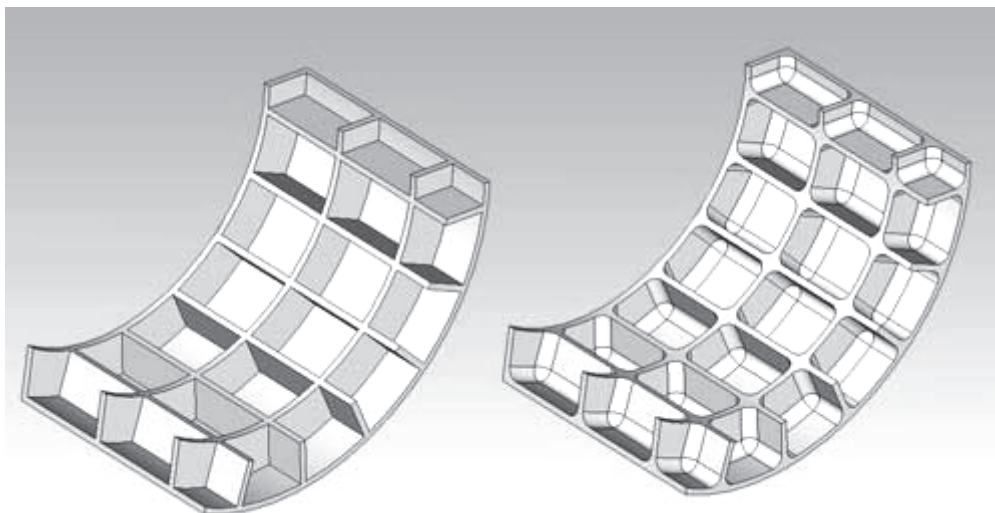


Рис. 2.3. Варианты панели, подкрепленной ребрами

Имеются конструкции, геометрия которых имеет переменную кривизну, и обработка таких поверхностей требует применения инструментов различного типа. Для того чтобы произвести подобный анализ, инженер должен измерить кривизну поверхности во многих точках. ADEM автоматизирует данную процедуру и предоставляет готовое решение.

После оценки технологичности и проектирования маршрута обработки в модуле для разработки управляющих программ может быть создана управляющая программа для изготовления детали на станке с ЧПУ.

При проектировании изделий в автоматизированных системах решаются такие задачи, как контроль свойств поверхностей, выявление несоответствия точности и шероховатости поверхностей, определение толщины стенки в сечении, контроль размерных связей, выявление отсутствия размеров и наличия замкнутых участков, расчет коэффициента использования материала, коэффициент унификации и пр.

Оценка технологичности конструкции изделий производится при проектировании оснастки для выполнения различных видов изготовления изделий, например, для литейных работ, штамповки и др. Оценка выполняется в специализированных модулях, например в таких, как BlankWorks/FastForm, который входит в состав программного комплекса SolidWorks.

BlankWorks/FastForm – расчетный пакет, обеспечивающий комплексный анализ процесса штамповки, вытяжки и гибки. Он позволяет выполнять следующие функции:

- моделирование процесса штамповки на основании геометрии изделия или инструмента;
- учет напряжений и деформаций, возникающих при штамповке;
- определение степени утонения материала;
- расчет затрат и потребностей в материале на каждое изделие;
- учет наличия прижимных устройств, порогов, сварных швов и других особенностей.

В МГТУ им. Н. Э. Баумана разработан пакет прикладных программ «Системный морфологический анализ литейной технологии» (СМАЛТ) для автоматизированного выбора способа литья и анализа технологичности конструкции отливки [21]. С помощью пакета программ решается в диалоговом режиме следующая задача: при заданных исходных параметрах по чертежу детали и техническим условиям определяется способ изготовления отливки с минимальными толщинами стенок, максимальными механическими свойствами, наибольшим коэффициентом использования металла с учетом размерной и массовой точности, с заданной шероховатостью поверхности и минимальной технологической себестоимостью. Одновременно оцениваются возможности использования методов повышения технологичности конструкции отливки.

Если задачи оценки технологичности конструкции деталей по отдельным показателям в значительной мере решаются, то при оценке сборочных единиц имеются определенные сложности, связанные с многодетальностью, наличием соединений, различием применяемых методов соединений, крепежных элементов и т. д. Отдельные показатели оценки сборочных единиц можно получить уже при проектировании изделия в конструкторском модуле, например, массу, коэффициент сложности изделия, коэффициент сборности и др.

Оценку технологичности авиационных конструкций по некоторым показателям можно выполнить в системе технологического моделирования агрегатно-сборочного производства ТеМП АСП [31].

Разработка автоматизированных систем для обеспечения технологичности продолжается. Например, в работе [6] разработана подсистема САПР, выполняющая автоматизированную оценку технологичности дета-

ли типа «вал». Разработана модель выбора схемы базирования деталей типа «вал» с учетом их габаритных размеров и материала, основанная на экспертных оценках типовых технологических проектных решений. С применением системотехнического подхода разработана математическая модель квалиметрической оценки технологичности деталей типа «вал», учитывающая трудоемкость, себестоимость и степень унификации детали.

В работе [20] разработана структура автоматизированной системы для определения трудоемкости изготовления детали и обеспечения технологичности конструкции. Разработана методика расчета трудоемкости детали, изготавливаемой фрезерованием. Создано программное обеспечение в виде экспертной системы управления технологичностью и системы расчета трудоемкости на основе анализа 3D-модели детали.

В ИрГТУ разработана программная система для оценки технологичности деталей авиационных конструкций [3]. В системе решаются следующие задачи: определение списка конструктивных элементов, поиск средств технологического оснащения (СТО) для изготовления, формирование техпроцесса изготовления деталей с учетом влияния на показатели технологичности, определение технологичности конструкции изделия.

В ДГТУ выполняются работы по разработке адаптивной автоматизированной системы прогнозирования и управления процессами отработки на технологичность изделий на этапах проектирования, подготовки производства и серийного выпуска [2].

В настоящее время развитие информационных технологий позволяет выполнять конструкторско-технологическое проектирование параллельно, что позволяет сократить время проектирования и подготовки документации. В развитых промышленных странах эта методология *параллельного проектирования* называется Concurrent Engineering (СЕ-проектирование).

Обеспечение технологичности конструкции изделий при СЕ-проектировании осуществляется использованием методологии DFMA (Design for Manufacture and Assembly), в основе которой заложены следующие методики [17, 22]:

- проектирование с учетом требований сборки DFA (Design for Assembly);
- проектирование с учетом требований изготовления деталей DFM (Design for Manufacture);
- проектирование с учетом требований конкурентоспособности DFC (Design for Competitiveness).

Методология реализуется в виде экспертной системы, состоящей из программных модулей DFA, DFM и DFC.

Цель применения системы – упрощение конструкции изделия исходя из структуры техпроцессов сборки и изготовления деталей. Основной предпосылкой метода DFMA является утверждение, что сокращение числа

деталей в конструкции ведет к созданию изделия, более совершенного с точки зрения производственных затрат, времени его изготовления, а также качества.

По методологии DFMA все детали подразделяются на две категории: *функциональные*, которые не могут быть объединены в одну деталь с какими-либо другими деталями, и *вспомогательные*, которые могут быть объединены. Деталь считается функциональной, если она совершает движение относительно смежных деталей, либо выполнена из другого материала, либо обеспечивает сборку других деталей.

Анализ конструкции основывается на исследовании каждой детали с точки зрения ее необходимости для обеспечения функционирования всего изделия. Все детали, не обеспечивающие функционирование изделия, должны быть удалены или объединены с необходимыми деталями.

После разработки в САПР ТП модель техпроцесса сборки изделия передается в модуль DFA, где выполняется анализ и формируются предложения по изменению конструкции. После анализа процесса сборки, в модуле DFM выполняют анализ конструкции на соответствие требованиям, предъявляемым при изготовлении деталей. В случае необходимости вносятся изменения в электронную модель изделия. Анализ DFM позволяет оценить затраты на изготовление и применяемые материалы. Альтернативные проекты разрабатываемого изделия, сгенерированные во время анализов DFA и DFM, с помощью модуля DFC сравниваются между собой и с данными конкурентных изделий.

Применение методологии DFMA позволяет сократить время проектирования до 45 %, массу изделий до 30 %, время сборки до 62 % и др. [22].

### **Контрольные вопросы**

- 1) *Дайте определение понятия «технологичность конструкции изделий».*
- 2) *Назовите виды технологичности конструкции изделий.*
- 3) *Какие способы применяются при оценке технологичности конструкции изделий?*
- 4) *Как выполняется качественная оценка технологичности конструкции изделий?*
- 5) *Назовите группы количественных показателей технологичности конструкции изделий.*
- 6) *Приведите примеры единичных, комплексных и интегральных показателей технологичности конструкции изделий.*
- 7) *Какие расчетные зависимости используются при оценке технологичности конструкции изделий?*
- 8) *Какие вопросы отработки на технологичность решаются с помощью современных систем автоматизированного проектирования?*

### 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В настоящее время в авиапромышленности для выполнения различных технологических работ используется автоматизированное технологическое оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ).

Широко используется оборудование с ЧПУ для выполнения механической обработки, особенно выполнения фрезерных работ. Применяется автоматизированное оборудование для выполнения заготовительно-штамповочных работ, для автоматизированной клепки панелей крыла и фюзеляжа и т. д.

Обобщенная структура автоматизированного оборудования (АТО) представлена на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Основные элементы и механизмы автоматизированного технологического оборудования

Двигательные элементы обеспечивают энергией все движущиеся части. В качестве источника этой энергии используются пневматические, гидравлические, электрические и комбинированные двигатели.

Передаточные механизмы осуществляют передачу движения от двигателя к механизмам рабочих и холостых ходов.

Устройства управления состоят из комплекса элементов автоматического управления и осуществляют управляющие воздействия.

Несущие элементы образуют жесткие конструкции и состоят из колонн, станин, корпусов, на которых монтируются части АТО.

Механизмы контроля выполняют операции измерения параметров изделия в процессе обработки и после завершения процесса.

Механизмы рабочих и холостых ходов сообщают рабочие и холостые перемещения рабочим элементам технологического оборудования.

### 3.1. Числовое программное управление

Числовое программное управление – управление технологическим оборудованием по управляющей программе, в которой данные записаны в числовом коде.

Система ЧПУ (СЧПУ) – совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих управление оборудованием.

Основными элементами СЧПУ являются устройство числового программного управления (УЧПУ) и элементы оборудования.

Функции СЧПУ можно разделить на основные и дополнительные.

*Основные функции* – управление приводами подач в соответствии с заданной программой.

*Дополнительные функции* – управление скоростью обработки и т. д.

Обобщенная структурная схема СЧПУ представлена на рис. 3.2.

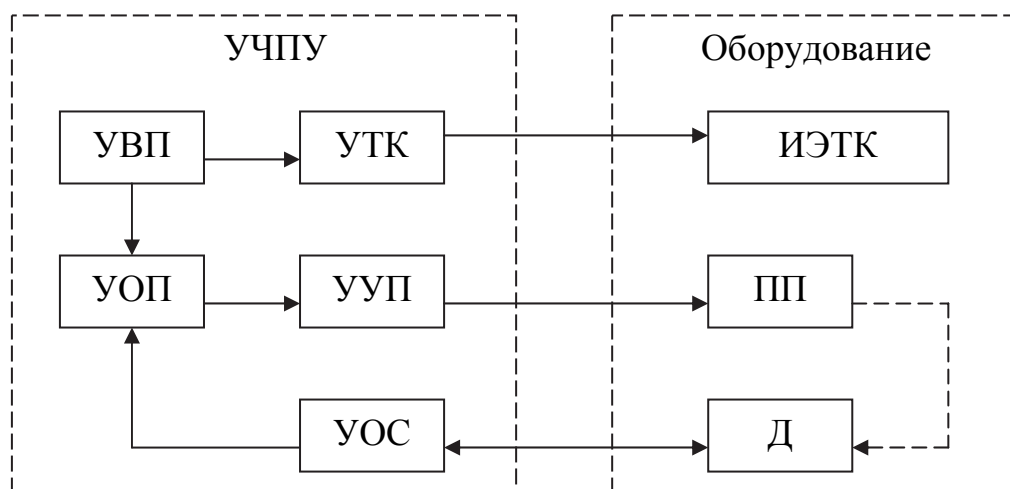


Рис. 3.2. Структурная схема СЧПУ

Устройство ввода программы (УВП) считывает программу и направляет сигналы в устройство обработки программы (УОП). Из УОП сигналы через устройство управления приводом (УУП) воздействуют на объект управления – привод подач (ПП).

Величину перемещения элементов технологического оборудования контролирует датчик (Д). Информация с датчика через устройство обратной связи (УОС) поступает в УОП, где происходит сравнение фактического перемещения с заданным.

Для исполнения дополнительных функций с УВП сигналы поступают в устройство технологических команд (УТК), которое воздействует на исполнительные элементы технологических команд (ИЭТК).

### 3.2. Классификация систем ЧПУ

По *особенностям структуры* системы ЧПУ подразделяют на следующие виды:

- *NC* (Numerical Control) – системы с покадровым чтением программы на протяжении цикла обработки каждой заготовки;
- *HNC* (Hand Numerical Control) – оперативные системы с ручным набором программы на пульте управления;
- *CNC* (Computer Numerical Control) – системы с встроенной малой ЭВМ;
- *DNC* (Direct Numerical Control) – системы управления группами станков от одной ЭВМ;
- *SNC* (Stored Numerical Control) – системы с однократным чтением всей программы перед обработкой партии одинаковых заготовок;
- *VNC* (Voice Numerical Control) – системы, в которые ввод информации осуществляется голосом, затем она преобразуется в управляющую программу.

По *виду рабочих движений* системы ЧПУ подразделяют на следующие виды:

- *позиционные* (координатные) – обеспечивают быстрое перемещение инструмента при точечной обработке (сверлильные, координатно-расточные станки, клепальные станки);
- *контурные* (непрерывные) – обеспечивают непрерывное движение инструмента по контуру.

Контурные системы делятся на следующие виды:

обеспечивающие прямоугольное формообразование – перемещение инструмента по координатным осям поочередно (токарные, фрезерные, расточные станки);

обеспечивающие прямолинейное формообразование и позиционирование – движение инструмента одновременно по двум координатным осям;

обеспечивающие криволинейное формообразование – обработка плоских и объемных деталей сложной формы.

По *характеру представления информации* системы ЧПУ делятся:

- на *непрерывные*, которые могут быть *фазовыми* и *амплитудными*;
- *дискретные*, которые могут быть *счетно-импульсными* и *шагово-импульсными*;
- *дискретно-непрерывные* системы.



### 3.3. Подготовка управляющих программ

**Управляющая программа (УП)** – совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования технологического оборудования при выполнении определенных работ.

При подготовке УП применяют единую систему терминов и обозначений (коды, символы, команды, описания), которые регламентированы рядом документов. В качестве языка программирования устройств с ЧПУ используется так называемый G-код. Язык был создан компанией Electronic Industries Alliance в начале 1960-х гг. Окончательная версия была одобрена в феврале 1980 г. как стандарт RS274D. Международная организация по стандартизации – ИСО (International Organization for Standardization) утвердила G-код как стандарт ISO 6983-1:1982, Госкомитет по стандартам СССР как ГОСТ 20999-83. В технической литературе G-код может обозначаться как код ИСО 7-бит (ISO 7-bit). Производители систем ЧПУ используют G-код в качестве базового подмножества языка программирования, расширяя его по своему усмотрению.

Управляющая программа состоит из последовательности нумерованных кадров. Кадр состоит из информационных *слов*. Программа составляется таким образом, что в кадре записывается та геометрическая (задание траектории движения инструмента), технологическая (задание значений скорости, подачи) и вспомогательная информация (смена инструмента, задание направление вращения шпинделя, включение охлаждения, останов и др.), которая требуется для выполнения процесса обработки детали.

Программирование любого движения осуществляется в стандартной системе координат, рекомендуемой ISO.

Координатные оси рабочих органов, несущих заготовку или инструмент, обозначают по правилу «правой руки». Ось Z совмещается с осью шпинделя (ось главного движения у всех типов станков). Ось X всегда горизонтальна. За положительное направление вращения вокруг осей X, Y, Z принято вращение по часовой стрелке при взгляде вдоль положительного направления оси.

При программировании и наладке станка при работе по УП используют некоторые характерные точки: нулевую, исходную, опорные точки.

Положение *координатной системы станка* определяется *нулевой точкой станка* (нуль станка).

*Нулевая точка детали* (нуль детали) – точка на детали, относительно которой заданы ее размеры.

*Исходная точка* – точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для начала работы по УП.

*Опорная точка* – точка расчетной траектории, в которой происходит изменение либо закона, описывающего траекторию движения инструмен-

та, либо условий протекания технологического процесса (происходит изменение направления или скорости перемещения).

Опорным точкам присваиваются порядковые номера, начиная от нуля.

Исходной информацией для кодирования и записи УП является ТП обработки на станке с ЧПУ, представленный в виде элементарных перемещений инструмента и технологических команд.

При программировании принято считать обрабатываемую заготовку условно *неподвижной*, а инструмент – *перемещающимся* относительно нее в пределах координатной системы. УП записывается в системе координат, непосредственно связанной с обрабатываемой заготовкой. Началом отсчета этой системы является *нуль детали*. Координатная система детали определенным образом располагается относительно координатной системы станка. В качестве координатной системы детали можно использовать координатную систему ее технологических баз или другую систему координат, построенную на плоскостях симметрии детали или пересечении ее сторон.

При проектировании УП координаты опорных точек можно задавать в абсолютных значениях (абсолютный отсчет координат) или же в приращениях (относительный отсчет координат).

*Абсолютный отсчет координат* проводят от одной *общей* точки (начала координат), и в программу заносят соответствующие абсолютные значения координат опорных точек.

*Относительный отсчет координат* проводят от предыдущей точки, и в программу заносят *разности* координат последующей и предыдущей опорных точек.

Схемы задания координат опорных точек представлены на рис. 3.3.

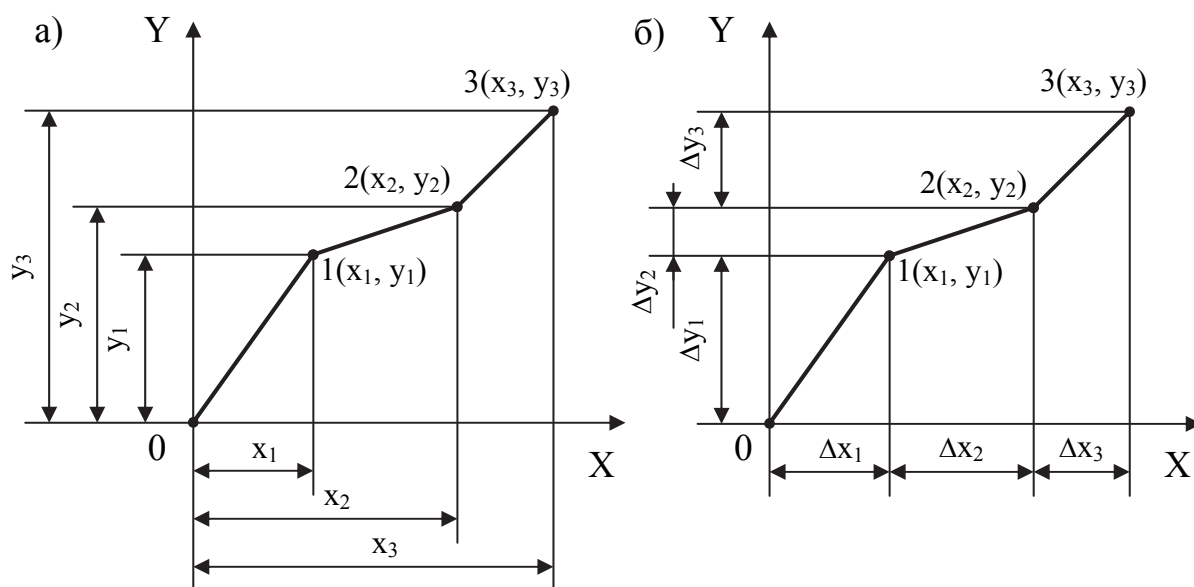


Рис. 3.3. Схемы задания координат опорных точек: а – абсолютные размеры; б – размеры в приращениях

Разработка УП может выполняться с ручной подготовкой информации и в автоматизированном режиме с использованием специальной программной системы.

Управляющая программа может начинаться символом % (Начало программы). В некоторых УЧПУ этот же символ используется в конце программы. После заголовка могут быть записаны комментарии, которые не используются для управления в УЧПУ.

Несколько кадров могут объединяться в разделы (главы) УП. Каждая глава начинается с *главного кадра*, который обозначается символом двоеточие «:» и номера не имеет. Главный кадр содержит информацию об общих условиях, действующих в течение цикла обработки.

Управляющая программа должна заканчиваться символом «Конец программы» или «Конец информации». Информация, помещенная после символа «Конец информации», не должна восприниматься УЧПУ.

Каждый кадр УП должен содержать:

- слово «Номер кадра»;
- информационные слова или слово;
- символ «Конец кадра»;
- символы табуляции (допускается не использовать). При использовании символов табуляции они проставляются перед каждым словом в кадре УП, кроме слова «Номер кадра».

Каждое слово в кадре УП должно состоять:

- из символа *адреса* (латинская прописная буква);
- математического знака «Плюс» или «Минус» (при необходимости);
- последовательности цифр.

Информационные слова в кадре рекомендуется записывать в следующей последовательности:

- слово или слова «Подготовительная функция»;
- слова «Размерные перемещения»;
- слова «Параметр интерполяции или шаг резьбы»;
- слово или слова «Функция подачи»;
- слово «Функция главного движения»;
- слово или слова «Функция инструмента»;
- слово или слова «Вспомогательная функция».

В пределах одного кадра не должны повторяться слова «Размерные перемещения» и «Параметр интерполяции или шаг резьбы».

Слово «Номер кадра» состоит из адреса N и цифр, количество которых должно быть указано в формате конкретного УЧПУ.

Пример кадра УП: N25 G01 X+34 F100.

Здесь представлены слова: N25 – «Номер кадра», G01 – «Подготовительная функция», X+34 – «Размерное перемещение», F100 – «Функция подачи». Буквы N, G, X, F являются адресами.

Рассмотрим основные информационные слова, используемые в УП.

*Подготовительные функции* задаются адресом G (Geometry) и двузначным десятичным числом. Они определяют режим и условия работы станка и УЧПУ. Подготовительные функции кодируются от G00 до G99. За каждой функцией закреплено стандартом определенное значение [11]. В конкретных УЧПУ значения тех или иных функций могут отличаться от рекомендуемых стандартом.

Кодирование и наименование некоторых подготовительных функций представлено в табл. 3.1.

Таблица 3.1

### Подготовительные функции

Код	Наименование
G00	Быстрое позиционирование (ускоренное перемещение)
G01	Линейная интерполяция
G02	Круговая интерполяция, движение по часовой стрелке
G03	Круговая интерполяция, движение против часовой стрелки
G04	Пауза
G17	Выбор плоскости обработки XY
G40	Отмена коррекции инструмента
G41	Коррекция на фрезу – левая
G42	Коррекция на фрезу – правая
G90	Абсолютный размер
G91	Размер в приращениях

Если в одном кадре необходимо использовать несколько подготовительных функций, то их записывают в порядке возрастания номеров их признаков.

**Размерные перемещения.** Слова «Размерное перемещение» предназначены для задания геометрической информации. Эти слова записываются в кадре в следующей последовательности адресов: X, Y, Z, U, V, W, R, Q, I, J, K, A, B, C.

Значения символов адресов:

X – первичная длина перемещения относительно оси X (координата точки траектории по оси X);

Y – первичная длина перемещения относительно оси Y (координата точки траектории по оси Y);

Z – первичная длина перемещения относительно оси Z (координата точки траектории по оси Z);

I – параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси X;

J – параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Y;

K – параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Z;

A – угол поворота вокруг оси X;

B – угол поворота вокруг оси Y;

C – угол поворота вокруг оси Z.

Адреса U, V, W – вторичные функции перемещений, параллельных осям X, Y, Z соответственно.

Адреса P, Q – третичные функции перемещений, параллельных осям X, Y.

Все размерные перемещения должны задаваться в абсолютных значениях или приращениях. Способ управления устанавливается соответствующей подготовительной функцией: G90 «Абсолютный размер» или G91 «Размер в приращениях».

Все линейные перемещения выражаются в миллиметрах и их долях. Допускается выразить линейные перемещения в дюймах. В этом случае в УП должна быть записана подготовительная функция, указывающая единицу измерения.

Все угловые размеры должны быть выражены в радианах (или градусах). Допускается угловые размеры выражать в десятичных долях оборота.

Если УЧПУ допускает задание размеров в абсолютных значениях (положительных или отрицательных в зависимости от начала системы координат), то математический знак «+» или «-» является составной частью слова «размерное перемещение» и должен предшествовать первой цифре каждого размера.

Математический знак должен также предшествовать первой цифре каждого размера, указывая направление перемещения, если УЧПУ допускает задание размеров в приращениях.

При задании размеров, как в абсолютных значениях, так и в приращениях, математический знак «+» в словах «Размерные перемещения» допускается не записывать.

**Функция подачи** определяет скорость подачи. Слово «Функция подачи» может определять как результирующую скорость подачи, так и составляющие этой скорости, разложенной по координатным осям. В кадре результирующая скорость подачи записывается под адресом F после всех слов «Размерные перемещения».

Если же «Функция подачи» относится к определенной координатной оси, она записывается непосредственно за словом «Размерные перемещения». Подачу кодируют числом, количество разрядов которого указано в формате конкретного УЧПУ. Тип подачи, если это допускает УЧПУ, выбирают одной из подготовительных функций: G93 «Подача в функции, обратной времени», G94 «Подача в минуту», G95 «Подача на оборот».

**Функция главного движения.** Слово «Скорость главного движения» записывается с адресом S и определяет линейную скорость точки приложения инструмента, м/мин, кодируемую подготовительной функцией G96 «Постоянная скорость резания», или частоту вращения шпинделя (стола), об/мин, кодируемую функцией G97 «Обороты в минуту».

Для кодирования скоростей подачи и главного движения применяются несколько методов.

Рекомендуется, чтобы основным методом кодирования подачи был метод *прямого* обозначения, при котором должны применяться следующие единицы измерения: миллиметры в минуту – подача не зависит от скорости главного движения; миллиметры на оборот – подача зависит от скорости главного движения; радиан в секунду (градусы в минуту) – подача относится только к круговому движению.

Рекомендуется, чтобы основным методом кодирования скорости главного движения был метод прямого обозначения, при котором число обозначает скорость шпинделя в радианах в секунду (оборотах в минуту).

Если число обозначает скорость резания, то единицей измерения является метр в минуту.

Допускается подачу и скорость главного движения задавать кодовым числом, причем большей подаче и скорости главного движения должно соответствовать большее кодовое число.

**Функция инструмента** используется для указания выбора инструмента. В этом слове с адресом T записывается кодовое число с одной или двумя группами цифр. Допускается использование этого адреса для коррекции инструмента. В слове с одной группой цифр задается только номер инструмента или его позиция, а корректор для этого инструмента определяется другим словом с адресом D (коррекция диаметра) или H (коррекция длины). В слове с двумя группами цифр первая группа цифр определяет номер (или позицию) инструмента, а вторая – номер корректора диаметра, положения или диаметра инструмента. Например, в слове T1218: T – адрес, 12 – номер инструмента, 18 – номер корректора. Если программируется номер инструмента без указания корректора, то вторая группа содержит нули (T1200), а если программируется корректор для заданного в одном из предыдущих кадров инструмента, то нули содержит первая группа цифр (T0018).

**Коррекция инструмента.** Компенсация износа и погрешности установки инструмента, учет параметров инструмента при безэвидистантном программировании траектории движения, определенной координатами опорных точек контура детали, задается в УП подготовительными функциями G41...G52. После слова подготовительной функции в УП указывается слово с адресом D и номером соответствующего корректора. Корректор находится на пульте УЧПУ и на нем набирается величина коррекции, например радиус инструмента.

Для отмены всех видов коррекции в программе используют функцию G40, а для отмены коррекции конкретной координаты перед ней вписывается слово D00.

**Вспомогательные функции M (Mode)** определяют команды для электроавтоматики станка и тем самым задают режим работы. Может быть задано до 100 таких функций в пределах M00...M99.

Кодирование и наименование некоторых подготовительных функций представлено в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Вспомогательные функции

Код	Наименование
M00	Программируемый останов
M01	Останов с подтверждением
M02	Конец программы
M03	Вращение шпинделя по часовой стрелке
M04	Вращение шпинделя против часовой стрелки
M05	Останов шпинделя
M06	Смена инструмента
M08	Включение охлаждения
M09	Отключение охлаждения
M17	Выход из подпрограммы
M30	Конец информации

**Формат кадра управляющей программы.** Схема построения кадров зависит от конструкции станка, модели УЧПУ, методики программирования и т. д. Поэтому управляющая программа для *конкретного* УЧПУ характеризуется *форматом*. Формат УП определяет порядок расположения слов в кадре и структуру каждого слова в отдельности.

В общем случае формат УП должен записываться с соблюдением определенных правил, символы указывают в определенной последовательности [11, 13]. В формате перечисляются все символы, используемые в данной УП, за каждым из которых идет набор цифр.

При разработке УП следует придерживаться формата, указанного в описании конкретного УЧПУ.

Пример записи формата:

% : / DS N03 G02 X+ 053 Y+ 053 Z+ 053 F031 S04 T04 M02 \*.

Данный формат указывает, что УЧПУ, для которого выполняется запись УП, воспринимает символы начала программы «%», главного кадра «:», пропуска кадра «/» и явную десятичную запятую «DS». Ведущие нули при записи кадров во всех словах (кроме слов с адресами G и M) разрешается опускать. N03 – трехзначный номер кадра. G02 – двузначная подгото-

вительная функция. X+ 053 – перемещение по оси X со знаком «+» или «-», пять цифр слева от десятичной запятой и три цифры справа. Y+ 053 – то же для оси Y. Z+ 053 – то же для оси Z. F031 – скорость подачи, три цифры слева от десятичной запятой и одна цифра справа. S04 – четырехзначная функция главного движения. T04 – четырехзначная функция инструмента. M02 – двузначная вспомогательная функция. \* – символ «Конец кадра».

**Обработка детали.** Относительно контура обрабатываемой детали траектория движения центра инструмента при обработке может располагаться по-разному: совпадать с контуром детали, быть эквидистантной контуру, изменять положение относительно контура по определенному закону.

Разработать траекторию движения центра инструмента сразу как единое целое практически трудно, поскольку в общем случае программируемая траектория является достаточно сложной, определяющей перемещения центра инструмента в пространстве. Поэтому в практике программирования траекторию движения инструмента представляют состоящей из отдельных, последовательно переходящих друг в друга участков, причем эти участки могут быть участками контура детали или эквидистанты.

Отдельные участки контура или эквидистанты называются геометрическими элементами. К ним относятся отрезки прямых, дуги окружностей, кривые второго и высших порядков.

Точки пересечения элементов или перехода одного элемента в другой называются геометрическими *опорными точками*. Траектория движения инструмента или контур детали разбивается на участки, и в УП задается перемещение инструмента от одного участка к другому.

Характер движения инструмента между соседними опорными точками определяется видом интерполяции, которую выполняет интерполятор.

**Интерполятор** – специальное вычислительное устройство в составе контурного УЧПУ, преобразующее заданную в УП информацию в управляющие воздействия на двигатели приводов подач с целью обеспечения требуемой траектории и скорости движения инструмента при обработке изделия.

В современных системах ЧПУ применяются в основном интерполяторы двух типов: линейные, обеспечивающие перемещение инструмента между соседними опорными точками по прямым линиям (*линейная интерполяция*), расположенным под любыми углами, и линейно-круговые, реализующие такой характер управления, при котором инструмент между опорными точками может перемещаться как по прямым линиям, так и по дугам окружностей (*круговая интерполяция*).

В большинстве контурных систем ЧПУ команды на перемещения рабочих органов оборудования выдаются дискретно, в виде единичных кратковременных управляющих воздействий – импульсов.



Интерполятор обеспечивает такое распределение поступающих импульсов во времени между приводами подач, при котором инструмент перемещается с максимальным приближением к заданной прямой или к дуге окружности с определенными шагами движений.

Цена одного импульса (наименьшее программируемое перемещение), или *дискретность системы*, отражает разрешающую способность комплекса, включающего систему ЧПУ, механизм подач и датчики обратной связи.

Современные отечественные СЧПУ имеют дискретность 0,01...0,001 мм/имп. В настоящее время разработаны УЧПУ, обеспечивающие дискретность системы 0,0001 мм/имп.

Интерполируемая часть траектории движения инструмента называется участком интерполяции и может быть записана в одном или нескольких кадрах УП. Начальная точка каждого участка интерполяции совпадает с конечной точкой предыдущего участка, поэтому в новом кадре она не повторяется.

Функциональный характер интерполируемого участка траектории (прямая, окружность, парабола или кривая более высокого порядка) определяется соответствующей подготовительной функцией.

Дугу окружности, лежащую в одной из координатных плоскостей, рекомендуется программировать в одном кадре УП.

Рассмотрим задание линейного перемещения инструмента от начальной точки  $P_0$  в конечную точку  $P_k$  в плоскости XY (рис. 3.4).

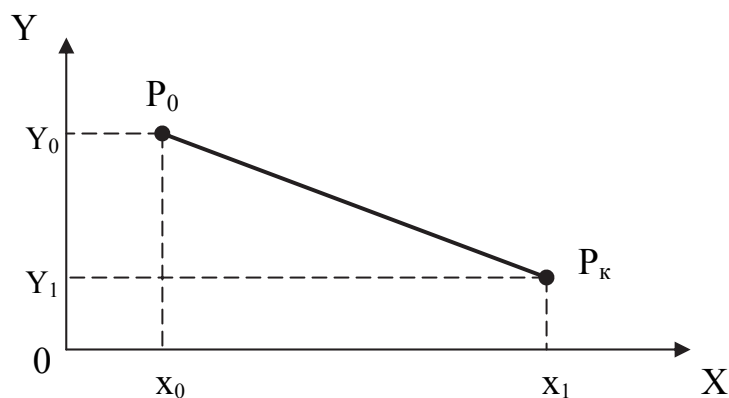


Рис. 3.4. Схема кодирования прямолинейного отрезка

Перемещения в абсолютных размерах определяются таким образом:

$$X = x_1 ; Y = y_1 .$$

Например, значения координат опорных точек равны:

$$x_0 = 20 \text{ мм}; x_1 = 50 \text{ мм}; y_0 = 40.5 \text{ мм}; y_1 = 15 \text{ мм}.$$

Для заданных выше значений координат опорных точек получим:  
X 50; Y 15.

В управляющей программе координаты будут записаны в следующем виде: X 50 Y 15

Перемещения в приращениях определяются таким образом:

$$X = x_1 - x_0; Y = y_1 - y_0.$$

Для заданных выше значений координат опорных точек получим: X 30; Y-25.5.

В управляющей программе координаты будут записаны в следующем виде: X 30 Y-25.5.

Для современных УЧПУ перемещения в УП задаются в миллиметрах или дюймах.

Кадр программы линейного перемещения инструмента запишется следующим образом.

- при задании перемещений в абсолютных размерах (мм):

N... G90 G01 X50 Y15

- при задании перемещений в приращениях (мм):

N... G91 G01 X30 Y-25.5

Для УЧПУ первых поколений перемещения в УП задавались в импульсах. Например, при дискретности 0.001 кадры имели следующий вид:

N... G90 G01 X50000 Y15000

N... G91 G01 X30000 Y-25500

Траектория движения инструмента по дуге окружности задается в различных УЧПУ по-разному. Это зависит от устройства интерполятора, от характера его работы как вычислительного устройства.

Обычно при выборе параметров, задающих круговую интерполяцию, исходят из того, что известно положение начальной точки дуги. Это естественно, поскольку приход в эту точку инструмента обусловлен предыдущими кадрами УП.

В полярной системе координат траектория задается направлением движения (по или против часовой стрелки), радиусом, координатами центра дуги относительно начальной точки с соответствующими знаками и значением угла.

В прямоугольной системе координат можно использовать способ задания дуги координатами конечной точки и центра дуги.

При векторном способе под адресами интерполяции указывают численные значения и направления (относительно осей координат) векторов, проведенных из начальной точки дуги в ее центр, и координаты (или приращения) конечной точки дуги.

Для задания круговой интерполяции в кадре программы должны быть указаны:

- направление обхода дуги (G02 – по часовой стрелке или G03 – против часовой стрелки, если смотреть со стороны положительного направления оси, перпендикулярной к обрабатываемой поверхности);

- плоскость обработки (G17 – плоскость XY, G18 – плоскость ZX, G19 – плоскость YZ);
- координаты конечной точки  $P_k$  в относительных или в абсолютных размерах с соответствующими адресами перемещений X, Y, Z;
- проекции на оси плоскости обработки от радиуса – вектора кругового участка. Если обработка выполняется в плоскости XY, то проекции радиус-вектора имеют адреса: I – проекция на ось X, J – проекция на ось Y. При обработке в плоскости XZ проекции радиус-вектора имеют адреса: I – проекция на ось X, K – проекция на ось Z и т. д.; проекции задаются в относительных размерах.

Если круговая интерполяция должна выполняться одновременно с линейной (линейно-круговая интерполяция), то дополнительно в кадре указывается размерное слово, определяющее конечную точку линейного перемещения, с соответствующим адресом и третий интерполяционный параметр, вводимый под соответствующим адресом и определяющий линейное перемещение на один радиан дуги (или на один оборот).

Несмотря на разнообразие способов задания параметров круговой интерполяции, их можно свести к единой общей расчетной схеме, обеспечивающей определение радиуса дуги (если он не задан) по заданным элементам I и J (рис. 3.5) [11].

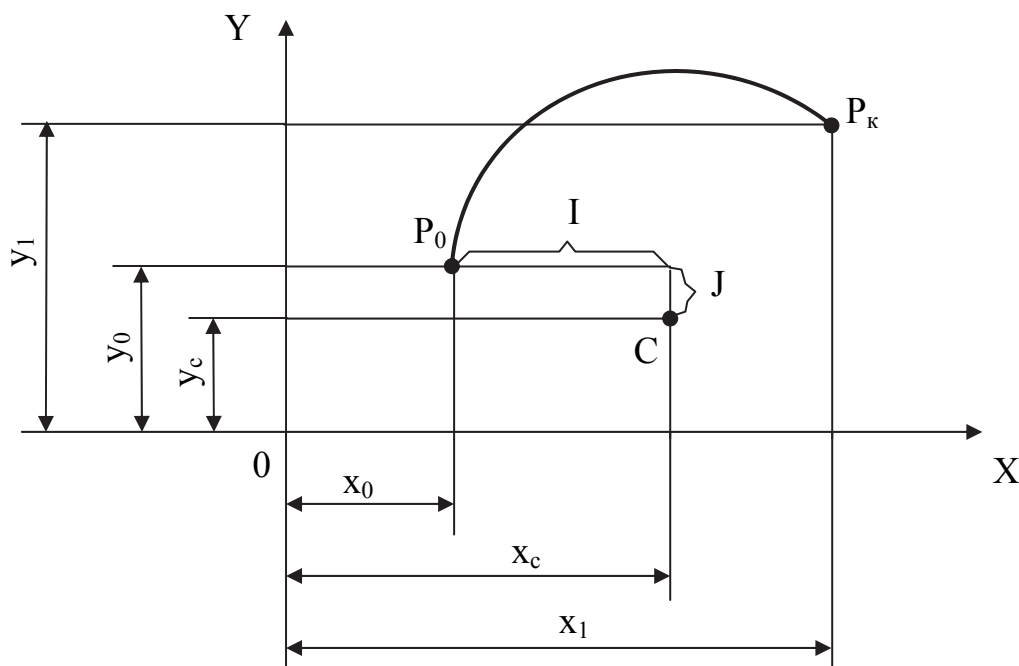


Рис. 3.5. Схема кодирования круговой траектории в плоскости XY

Перемещения в абсолютных размерах программируются так:

$$X = x_1; \quad I = x_c - x_0;$$

$$Y = y_1; \quad J = y_c - y_0.$$

Перемещения в приращениях программируются таким образом:

$$\begin{aligned} X &= x_1 - x_0; & I &= x_c - x_0; \\ Y &= y_1 - y_0; & J &= y_c - y_0. \end{aligned}$$

Рассмотрим программирование круговой интерполяции при перемещении инструмента от начальной точки  $P_0$  в конечную точку  $P_k$  (по часовой стрелке) в плоскости  $XY$  (см. рис. 3.5).

При значениях координат:  $x_0 = 20$  мм,  $y_0 = 15$  мм,  $x_1 = 50$  мм,  $y_1 = 65$  мм,  $x_c = 30$  мм,  $y_c = 10$  мм, получим следующие значения координат и параметров интерполяции (радиус-вектор направлен из точки  $P_0$  в центр  $C$ ):

- перемещения в приращениях (мм):

$$X = 30 \quad Y = 50 \quad I = 10 \quad J = -5;$$

- кадр УП будет иметь следующий вид:

N... G91 G02 G17 X30 Y40 I10 J-5.

При задании перемещения против часовой стрелки от точки  $P_k$  к точке  $P_0$  (радиус-вектор из точки  $P_k$  в центр  $C$ ) получим следующие значения.

- перемещения в абсолютных размерах (мм):

$$X = 20 \quad Y = 15 \quad I = -20 \quad J = -55;$$

- кадр УП будет иметь следующий вид:

N... G90 G03 G17 X20 Y15 I-20 J-55.

Рассмотрим пример подготовки управляющей программы для изготовления детали на фрезерном станке с ЧПУ [19].

Эскиз детали представлен на рис. 3.6. Толщина заготовки (прямоугольной пластины) составляет 15 мм. Обработка осуществляется фрезой диаметром 10 мм. Дискретность – 0.01 мм. Ускоренная скорость подачи равна 950 мм/мин, рабочая скорость подачи – 350 мм/мин.

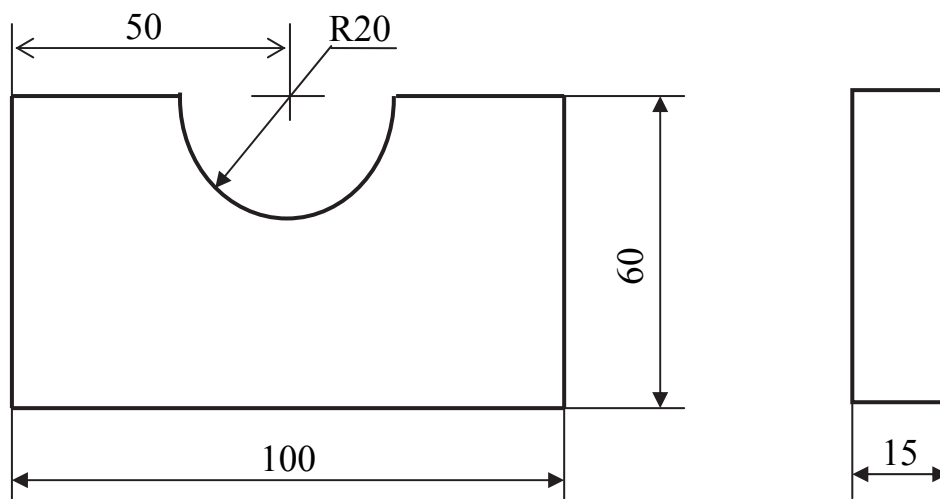


Рис. 3.6. Эскиз детали

Схема изготовления детали на фрезерном станке с ЧПУ представлена на рис. 3.7. На схеме указаны исходная точка и опорные точки траекто-

рии движения центра инструмента (эквидистантно контуру детали). Обработка производится в режиме задания относительных координат.

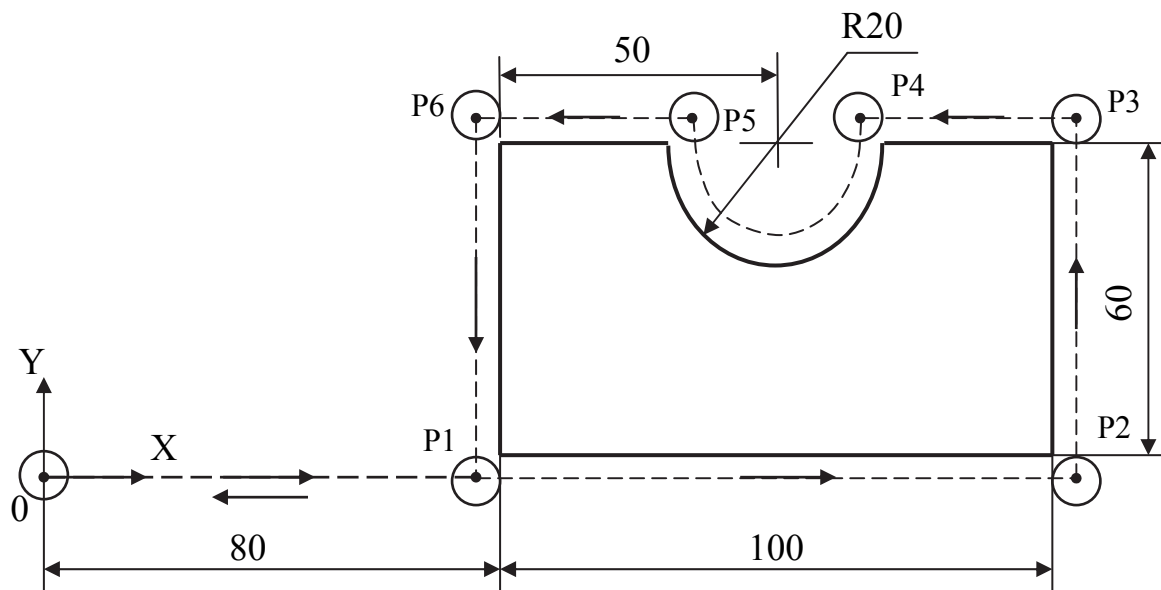


Рис. 3.7. Схема изготовления детали на фрезерном станке с ЧПУ

Текст управляющей программы имеет следующий вид:

```

N001 G91
N002 G71
N003 G00 X0.0 Y0.0 Z40.0 T01 M06
N004 G01 X65.0 Y0.0 Z-40.0 F950 S717 M03
N005 G01 X10.0 F350 M08
N006 G01 X110.0
N007 G01 Y70.0
N008 G01 X-40.86
N009 G02 X-28.28 Y0.0 I14.14 J5.0
N010 G01 X-40.86
N011 G01 Y-70.0
N012 G01 X-75.0 Y0.0 Z40.0 F950 M30

```

Рассмотрим команды для фрезерного станка, задаваемые кадрами УП.

Кадр 001. Выбор режима относительных координат.

Кадр 002. Выбор метрических единиц.

Кадр 003. Быстрое перемещение шпинделя по оси Z на 40 мм выше исходной точки и установка фрезы диаметром 10 мм.

Кадр 004. Прямолинейное перемещение фрезы из исходной точки до точки с координатами  $X = 65$  мм и  $Y = 0$  на повышенной скорости подачи 950 мм/мин с перемещением фрезы по оси Z на 40 мм вниз. Установка числа оборотов шпинделя – 1740 об/мин. Включение вращения шпинделя.

Кадр 005. Прямолинейное перемещение фрезы к точке P1 (координаты  $X = 10$  мм,  $Y = 0$ ) со скоростью подачи 350 мм/мин. Включение охлаждения.

Кадр 006. Прямолинейное перемещение фрезы от точки P1 к точке P2 (координаты  $X = 110$  мм,  $Y = 0$ ).

Кадр 007. Прямолинейное перемещение фрезы от точки P2 к точке P3 (координаты  $X = 0$ ,  $Y = 70$  мм).

Кадр 008. Прямолинейное перемещение фрезы от точки P3 к точке P4 (координаты  $X = -40.86$  мм,  $Y = 0$ ).

Кадр 009. Перемещение фрезы от точки P4 к точке P5 (координаты  $X = -28.28$  мм,  $Y = 0$ ) по дуге окружности (по часовой стрелке).

Кадр 010. Прямолинейное перемещение фрезы от точки P5 к точке P6 (координаты  $X = -40.86$  мм,  $Y = 0$ ).

Кадр 011. Прямолинейное перемещение фрезы от точки P6 к точке P1 (координаты  $X = 0$ ,  $Y = -70$  мм).

Кадр 012. Прямолинейное перемещение шпинделя от точки P1 к исходной точке со скоростью 950 мм/мин и подъемом вверх на 40 мм от детали. Отключение охлаждения. Остановка шпинделя и возврат к началу программы.

### 3.4. Структура систем автоматизации программирования

Подготовка УП связана с переработкой большого объема специальной информации, что вызывает необходимость использования ЭВМ. Применение ЭВМ для автоматизации программирования и подготовки УП потребовало разработки специального программно-математического обеспечения для решения различных технологических и геометрических задач.

Совокупность математического, программного обеспечения и проблемно-ориентированного языка для разработки УП для технологического оборудования называют системой автоматизированного программирования (САП). В настоящее время разработано множество различных САП. Они различаются степенью и уровнем автоматизации этапов подготовки управляющих программ.

САП можно рассматривать как кибернетическую систему, обеспечивающую переработку информации. На вход системы поступают информация об обрабатываемой детали и указания проектировщика, а на выходе получаем спроектированную УП для оборудования с ЧПУ.

Основные программные блоки САП: сервис, процессор, постпроцессор.

В блоке *Сервис* перерабатывается постоянная информация о станках, инструментах, материале заготовок и т. д. Информация систематизируется и записывается в память ЭВМ в виде таблиц параметров в соответствующие базы данных.

В блоке *Процессор* выполняется комплекс геометрических и технологических расчетов независимо от типа станка и системы ЧПУ. Процессор рассчитывает траекторию движения инструмента. Расчеты выполняются на языке программирования высокого уровня, например АРТ (Automatically Programmed Tools – автоматически программируемый инструмент). Полученные данные затем записываются на языке с нейтральным форматом CLDATA (CATER Location Data – данные о положении инструмента) представляя собой особый вид промежуточной информации «процессор-постпроцессор».

Процессор САП состоит из четырех последовательно работающих блоков: трансляции, геометрического, технологического и формирования CLDATA.

Блок *трансляции* (препроцессор или блок ввода и декодирования) выполняет следующие функции: считывание исходной информации, преобразование информации из символьной формы во внутримашинное представление.

*Геометрический* блок процессора решает задачи, связанные с построением траектории движения инструмента: нахождение точек и линий пересечения различных геометрических элементов, аппроксимация различных кривых с заданным допуском, построение эквидистантного контура с учетом радиуса инструмента и т. д.

*Технологический* блок автоматически делит область, подлежащую обработке, на ряд переходов, рабочих ходов и рассчитывает оптимальные режимы обработки.

Блок *формирования CLDATA* подготавливает информацию для работы постпроцессора.

*Постпроцессор* продолжает переработку промежуточной информации процессора, созданной на языке CLDATA, и формирует УП с ориентацией на конкретный станок и систему ЧПУ. Типовые функции постпроцессора: считывание данных, подготовленных процессором, и перевод их в систему координат станка; формирование команд на перемещение с учетом цены импульса ЧПУ и команд, обеспечивающих цикл смены инструмента; кодирование и выдача в кадр значений подач и скоростей шпинделя; диагностика ошибок; выполнение сервисных функций; выдача УП на программноноситель.

В качестве программноносителей ранее применяли перфоленты, магнитные ленты, магнитные диски, в настоящее время используются оптические диски, кассеты памяти, USB-накопители.

Обычно САП содержит набор постпроцессоров, которые обеспечивают формирование УП для конкретных типов станков с ЧПУ.

Организация работы САП по системе «процессор-постпроцессор» при подготовке УП имеет важное преимущество. На данном конкретном языке САП на базе одной и той же исходной информации, имея данные

CLDATA и используя различные постпроцессоры, можно получить УП для различных моделей станков и УЧПУ. Кроме того, для подключения новых моделей станков с ЧПУ к применяемой на предприятии САП достаточно разработать постпроцессор и состыковать с САП.

САП позволяет выполнить имитацию процесса обработки и визуально (на дисплее) проконтролировать качество подготовки УП. Обычно визуальная проверка процесса обработки выполняется после создания файла в формате CLDATA. В некоторых САП проверка выполняется после создания УП на языке конкретного станка.

В качестве исходных данных при разработке УП могут использоваться данные чертежа на бумажном носителе или параметры электронных двумерных и трехмерных моделей, выполненных с использованием систем автоматизированного проектирования изделий (САД-систем).

Ввод УП производится либо путем установки программноносителя в дисковод ЧПУ станка, либо пересылки УП из САП в оперативное запоминающее устройство процессорного модуля УЧПУ.

Методы организации обработки заготовок деталей, движение инструмента в зависимости от типа обрабатываемой поверхности, например карман, ребро, назначение черновой и чистовой обработки в каждой современной САП реализуется индивидуально, но в целом разработка УП, например для фрезерной обработки, может выполняться по следующей обобщенной схеме (рис. 3.8).

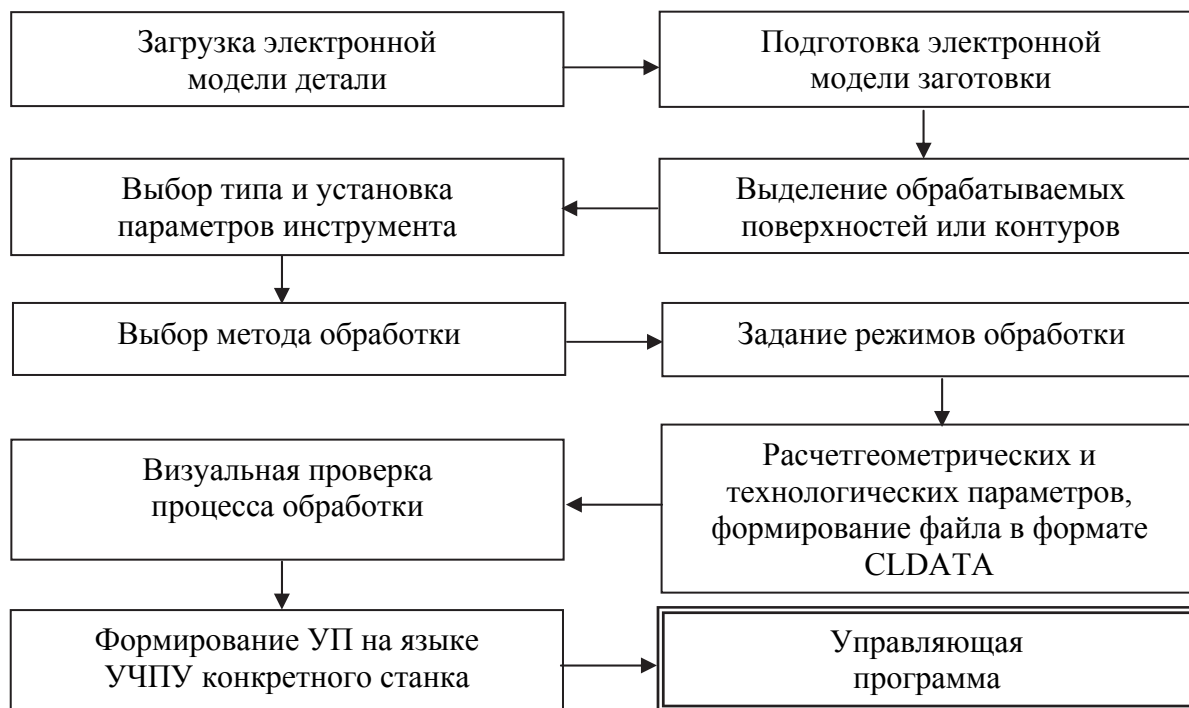


Рис. 3.8. Этапы разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ в системе автоматизированного программирования



В настоящее время САП, англоязычное определение – САМ (Computer Aided Manufacturing), разрабатываются как отдельные специальные или универсальные автоматизированные системы, так и системы, входящие в виде модулей в состав интегрированных комплексов для выполнения проектировочных, технологических и расчетных работ, так называемых САД/САМ/САЕ-систем.

Универсальные и специальные САМ-системы имеют возможность интеграции с системами автоматизированного проектирования изделий (САД-системами).

Перечень САМ-систем, предлагаемых разными разработчиками систем автоматизированного проектирования, представлен в [18], например: PowerMILL (подготовка УП для фрезерных станков), EdgeCAM (подготовка УП для различных станков), интегрированная система ADEM-VX и др.

Важной характеристикой САМ-системы является наличие в базах данных системы библиотеки готовых постпроцессоров, программ, которые позволяют на основе данных, полученных с электронной модели детали и записанных в нейтральном формате в виде CL-файла (CLDATA-файла), разработать УП для конкретного станка. Производители САМ-систем указывают, какие готовые постпроцессоры имеются в базах данных системы.

Некоторые САМ-системы имеют в своем составе модули – генераторы постпроцессоров, с помощью которых пользователь может разработать постпроцессор для конкретного оборудования в случае, если в библиотеке постпроцессоров нет готового постпроцессора.

Разработаны специальные программные системы для создания постпроцессоров для различного оборудования, например: ARTIPP, IMSpot Professional.

Современные САМ-системы позволяют при имитации процесса обработки визуально выполнить контроль зарезаний и результатов обработки путем раскрашивания поверхности детали различными цветами, выявить необработанные участки. В случае выявленных дефектов выполняется корректировка УП, затем снова выполняется визуальная проверка.

Основной недостаток визуальной проверки в САМ-системах – проверка выполняется без учета особенностей станка, не диагностируются возможные столкновения инструмента или державки с заготовкой, приспособлением и узлами станка.

Чтобы выполнить проверку разработанной УП с учетом применяемого оборудования, используются специальные программные системы-*верификаторы*. К таким системам относятся: VERICUT, Sirius, NCtuner, NCVerify, Predator Virtual CNC.

Чтобы выполнить реалистичную имитацию, система-верификатор должна содержать описание пространственной модели станка с ЧПУ, а также получать описания инструментов, приспособлений и заготовок.

Кроме того, верификатор должен понимать форматы УП, предлагаемых для контроля. Библиотеки систем-верификаторов должны иметь широкий спектр моделей оборудования, возможность их создания и редактирования.

Наибольшими возможностями из современных систем-верификаторов обладает виртуальный производственный комплекс VERICUT, который состоит из модулей, позволяющих выполнить пространственную реалистичную имитацию и контроль обработки детали на станке, имитацию обработки на 4- и 5-координатных станках, сравнение исходной CAD-модели с результатами обработки детали на станке, оптимизацию режимов резания, формирование CAD-модели на основании управляющей программы, выполнить реалистичную имитацию движений исполнительных органов станка, создать 3D-модели станков, организовать передачу информации из различных CAD/CAM-систем (Unigraphics, CATIA и др.).

### **3.5. Автоматизированная система для подготовки управляющих программ T-FLEX ЧПУ**

Для подготовки программ для станков с ЧПУ фирма «Топ Системы» предлагает свою разработку T-FLEX ЧПУ. Система T-FLEX ЧПУ полностью интегрирована с T-FLEX CAD. Систему T-FLEX ЧПУ выгодно отличает от других систем сквозная параметризация, то есть разработчик имеет возможность, параметрически изменяя чертеж детали в системе T-FLEX CAD, автоматически получать изменение в управляющей программе.

Система T-FLEX ЧПУ поставляется в двух вариантах: T-FLEX ЧПУ 2D и T-FLEX ЧПУ 3D.

Система T-FLEX ЧПУ построена по модульному принципу.

T-FLEX ЧПУ 2D состоит из базового модуля, модуля электроэрозионной обработки, модуля токарной обработки, модуля сверления, модуля лазерной обработки и модуля 2.5-й координатной фрезерной обработки.

T-FLEX ЧПУ 3D состоит из базового модуля, модуля 3-координатной фрезерной обработки и 5-координатной фрезерной обработки.

**Базовый модуль** системы T-FLEX ЧПУ содержит:

- математическое ядро, интегрированное с математическим ядром PARASOLID;
- редактор инструмента, применяемый для разработки инструмента, используемого при обработке конкретной детали и для создания инструментальных баз данных;
- модуль генерации постпроцессоров, позволяющий создавать свои постпроцессоры благодаря использованию табличных настроек, макросов и прямого программирования;
- библиотеку постпроцессоров, включающую порядка 100 готовых постпроцессоров, среди которых, например: AGIE 100/200, CHARLIE,

2M43, 2M43-55 – электроэрозионная обработка; КОМЕТА – лазерная обработка; 1A734, НЦ31, 2P22, FANUC 0/00/0M/16 – токарная обработка; 2C150, 2C42-61(65), 65A80, BRADLEY, FANUC – сверлильная обработка; 2C150, 2C42-61(65), CNC 600, FIDIA-CNC20, FIDIA-CNC30, OLIVETTI, POWER AUTOMATION, SINUMERIK 820D, SINUMERIK 840D, SINUMERIK 840A, BRADLEY – фрезерная обработка и многие другие постпроцессоры;

- эмулятор обработки, отображающий процесс обработки по сгенерированной управляющей программе.

**Электроэрозионная обработка** служит для выполнения сквозных отверстий как цилиндрических, так и с произвольным контуром, узких прямолинейных и криволинейных щелей в заготовках для изготовления матриц, штампов, фасонного режущего инструмента, шаблонов, контршаблонов и других изделий. Для этого используют электроэрозионное вырезание непрофилированным электродом-проволокой. В системе T-FLEX ЧПУ возможно проектировать следующие виды электроэрозионной обработки: одноконтурное резание (2D-обработка); угловое резание (2.5D-обработка); двухконтурное резание (4D-обработка). Для генерации управляющих программ пользователь может использовать постпроцессоры, поставляемые в библиотеке постпроцессоров, или самостоятельно создать необходимый для обработки постпроцессор с использованием модуля генерации постпроцессоров системы T-FLEX ЧПУ.

**Лазерная обработка** основана на съёме материала при воздействии на него концентрированными световыми лучами. В месте касания луча с обрабатываемым материалом благодаря высоким температурам происходит испарение материала. Данную обработку применяют для обработки отверстий простой и фасонной формы в алмазах, рубинах, керамике, твёрдых сплавах и других труднообрабатываемых материалах. В системе T-FLEX ЧПУ возможно проектировать следующие виды лазерной обработки: одноконтурное резание (2D-обработка); угловое резание (2.5D-обработка); двухконтурное резание (4D-обработка). Для генерации управляющих программ пользователь может использовать постпроцессоры, поставляемые в библиотеке постпроцессоров, например КОМЕТА, TRUMPF, или самостоятельно создать необходимый для обработки постпроцессор с использованием модуля генерации постпроцессоров системы T-FLEX ЧПУ.

Используя описанные выше типы обработки в системе T-FLEX ЧПУ можно создавать УП для плазменной и гидроструйной резки.

**Токарная обработка** (2D-обработка) – обработка наружных, внутренних, цилиндрических, конических, фасонных и торцовых поверхностей заготовок. В связи со спецификой конфигурации обрабатываемых объектов, представляющих собой тела вращения, собственно обработка сводится

к решению задач на плоскости и в осевом сечении. В системе T-FLEX ЧПУ для пользователя имеется набор универсальных циклов для токарной обработки, например циклы снятия припуска отрезным или проходным резцами. Кроме того, система T-FLEX ЧПУ предлагает пользователю использование специализированных циклов для токарного обрабатывающего центра. Параметры этих циклов настроены под такие стойки ЧПУ, как FANUC, SINUMERIC, 2P22. Среди этих циклов пользователь найдёт такие циклы: многократное снятие припуска, точение на конус, осевое сверление, глубокое осевое сверление, нарезание резьбы, фрезерование канавок и так далее. Для генерации управляющих программ пользователь может использовать постпроцессоры, поставляемые в библиотеке постпроцессоров, или самостоятельно создать необходимый для обработки постпроцессор с использованием модуля генерации постпроцессоров системы T-FLEX ЧПУ.

К *сверлильной обработке* (2.5D-обработка) относят сверление, расверливание, зенкерование, развёртывание отверстий и нарезание резьбы в отверстиях. В случае использования станков с ЧПУ при данной обработке не применяются разметка и кондукторы. На оборудовании подобного класса возможна комплексная сверлильно-расточная обработка заготовок различной конфигурации и степени точности. В системе T-FLEX ЧПУ технолог-программист найдёт целый набор специализированных циклов обработки, например различные виды глубокого сверления, повторяющегося сверления и т. д. Параметры этих циклов по умолчанию настроены для стоек OLIVETTI, BRADLEY, POWER AUTOMATION, 2C42-61(65). Однако пользователь может самостоятельно поменять эти настройки. Для генерации управляющих программ пользователь может использовать постпроцессоры, поставляемые в библиотеке постпроцессоров, или самостоятельно создать необходимый для обработки постпроцессор с использованием системы T-FLEX ЧПУ.

*Фрезерная обработка* – самая распространённая обработка, при которой применяются станки с числовым программным управлением. В системе T-FLEX ЧПУ имеется возможность проектировать процесс обработки и генерировать управляющие программы для оборудования с ЧПУ для следующих типов фрезерной обработки.

2.5D-фрезерование применяется для обработки цилиндрических и линейчатых поверхностей (контуров) заготовок с произвольными направляющими и образующими, либо параллельными оси инструмента, либо имеющими с этой осью постоянный угол в нормальном сечении. Кроме того, при данном виде фрезерования пользователь может осуществлять «карандашное» фрезерование, а также проводить фрезерование «карманов», «колодцев», «островов» и других специфических технологических элементов. Важно отметить, что технолог-программист не ограничен в выборе

инструмента для обработки. Система T-FLEX ЧПУ позволяет ему разработать необходимый для конкретной обработки инструмент и использовать этот инструмент при подготовке управляющей программы.

3D-фрезерование предназначается для объёмной обработки любых поверхностей, доступных для обработки инструментом с неизменным направлением его оси в пространстве.

5D-фрезерование предназначается для обработки поверхностей торцовой либо боковой частью инструмента в тех случаях, когда применение обычной объёмной обработки невозможно или неэффективно, и обработки линейчатых поверхностей боковой частью инструмента. Иными словами, данный вид фрезерования предназначен для обработки сложных технических поверхностей фасонной формы (свободных поверхностей), чья форма обусловлена их специальным служебным назначением.

Пример задания параметров обработки при разработке УП для фрезерной обработки в системе T-FLEX ЧПУ представлен на рис. 3.9.

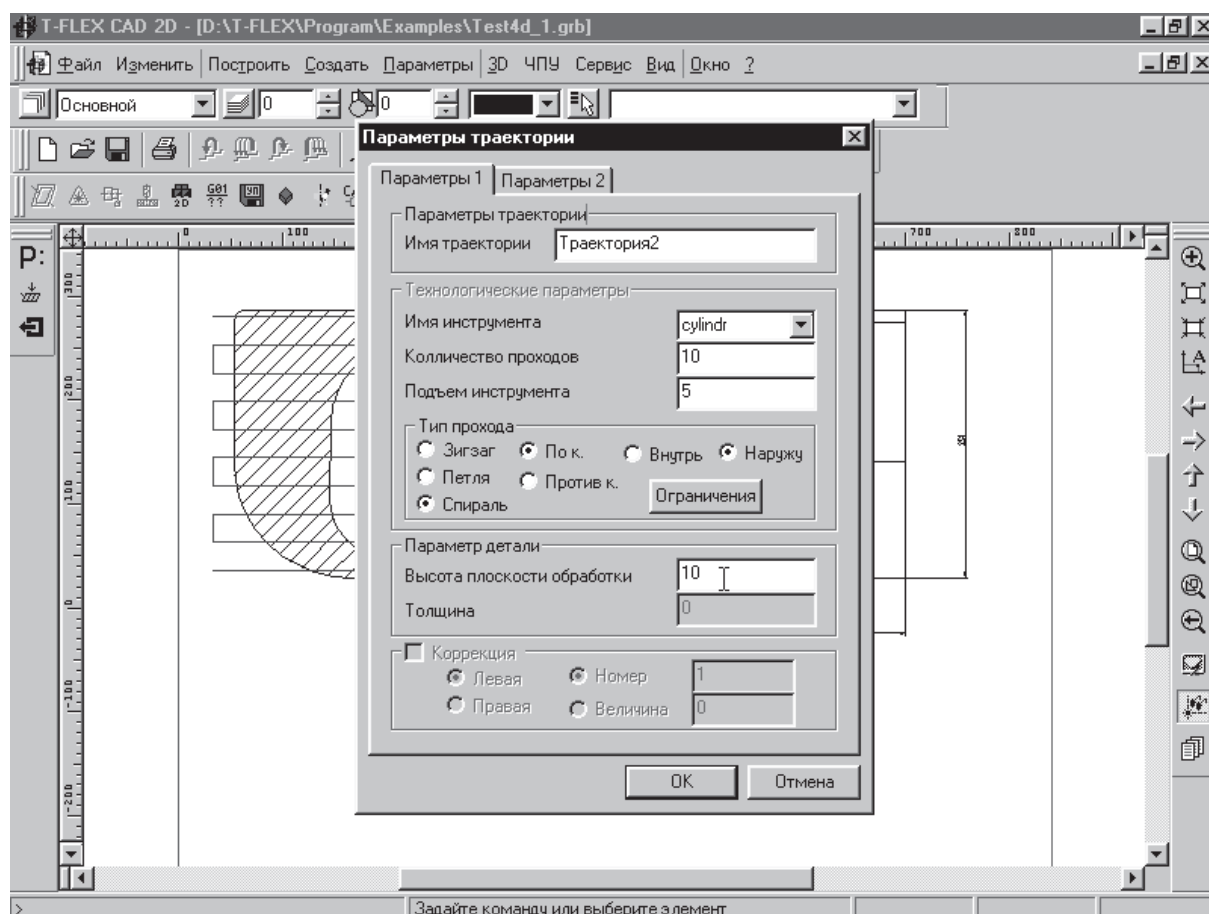


Рис. 3.9. Пример задания параметров траектории обработки

Одновременно с системой T-FLEX ЧПУ фирма «Топ Системы» предлагает систему T-FLEX NC TRACER – специализированный инструмент технолога-программиста. Основное назначение данного программно-

го продукта заключается в просмотре готовых управляющих программ для оборудования с ЧПУ с возможным их редактированием.

T-FLEX NC TRACER поставляется в следующих вариантах:

- T-FLEX NC TRACER 2D – позволяет просматривать созданные управляющие программы для 2-координатной обработки (токарная обработка, растачивание, осевое сверление и другие операции возможные на токарных обрабатывающих центрах);
- T-FLEX NC TRACER 3D – позволяет просматривать созданные управляющие программы для 2,5- и 3-координатной обработки и вносить в них изменения;
- T-FLEX NC TRACER 5D – позволяет просматривать созданные управляющие программы для 2,5-, 3- и 5-координатной обработки и вносить в них изменения.

Пример имитации обработки детали в системе T-FLEX NC TRACER представлен на рис. 3.10.

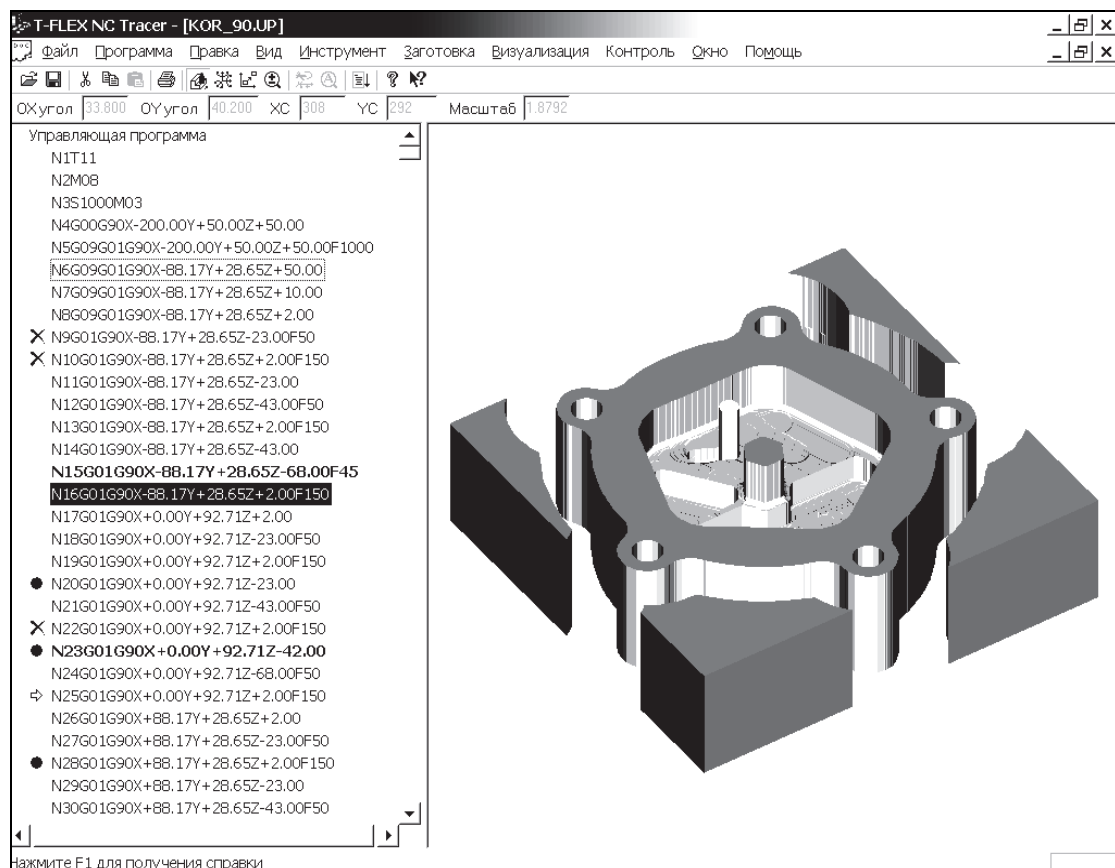


Рис. 3.10. Пример имитации обработки в системе T-FLEX NC TRACER

T-FLEX NC TRACER обеспечивает:

- имитацию различных типов 2D-, 2.5D-, 3D- и 5D-обработки;
- динамическое вращение, панорамирование и увеличение изображения модели обрабатываемой детали;

- чтение файлов управляющих программ в кодах ЧПУ по стандарту ISO6983/DIN66025(24);
- задание твёрдотельных моделей заготовки, крепёжных приспособлений и оснастки в виде прямоугольного бруска, цилиндра и VRML-модели любой формы;
- позиционирование, перенос и поворот твёрдотельных моделей для точной имитации обработки;
- определение возможных столкновений инструмента с заготовкой, крепёжными приспособлениями и оснасткой, отслеживание врезания инструмента в заготовку на быстром ходу, обнаружение других ошибок в управляющей программе;
- совершенную визуализацию: прозрачность и тени, динамическое изменение освещения, точное масштабирование фрагментов, запись и воспроизведение процесса обработки, создание фотореалистичных изображений, 16 000 000 цветовых оттенков;
- возможность создания баз данных инструментов, используемых при обработке на одном или нескольких станках;
- интерактивное редактирование управляющих программ;
- режим «отладки» управляющей программы с возможностью поэлементного поиска внутри исходных кодов (команды, строки и т.д.);
- вращение обрабатываемой модели непосредственно в процессе обработки;
- получение твёрдотельной модели непосредственно на каждом шагу обработки;
- проведение ряда операций (создание сечений перпендикулярными плоскостями, создание сечений в плоскости инструмента, создание разрезов, просмотр зоны контакта системы «Заготовка – Инструмент – Деталь» и т. д.) как в момент обработки модели, так и после.

### **3.6. Проектирование операции гибки для профилегибочного растяжного станка с ЧПУ**

На предприятиях авиационной промышленности технологические процессы гибки с растяжением профильных заготовок осуществляются на профилегибочных растяжных станках (ПГР).

Станки ПГР предназначены для изготовления методом гибки с растяжением деталей одинарной кривизны из гнутых и прессованных профилей, имеющих различные формы поперечного сечения.

Основные элементы конструкции станка ПГР и схема изготовления детали представлены на рис. 3.11.

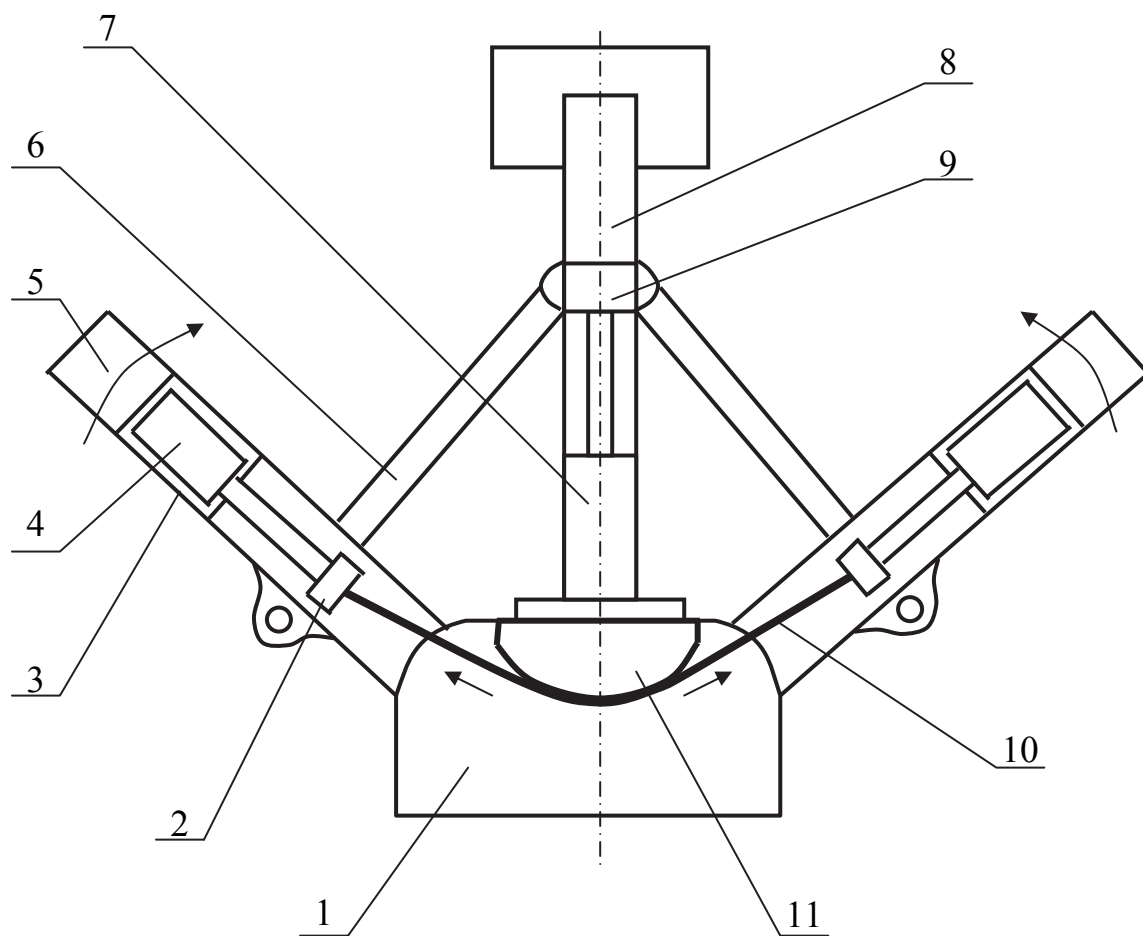


Рис. 3.11. Основные элементы конструкции и схема изготовления детали на станке ПГР

Основной частью станка является станина, имеющая при виде сверху Т-образную форму, состоящая из стола 1, балки 8 и двух гибочных рычагов 5, которые шарнирно закреплены с двух боковых сторон к столу. Шток гибочного гидроцилиндра 7 соединен с ползуном 9, к которому шарнирно присоединены тяги 6, имеющие соединение с кронштейнами, расположенными на лицевой стороне гибочных рычагов. Растяжные цилиндры 4 шарнирно крепятся на каретках 3, перемещающихся по направляющим гибочных рычагов. В зависимости от длины заготовки каретку можно перемещать по длине рычага. На концах штоков растяжных гидроцилиндров установлены зажимные патроны 2.

Рассмотрим процесс изготовления гнутых деталей на станках ПГР.

Перед началом работы гибочные рычаги 5 выставляются по одной прямой линии. Прямая заготовка 10 устанавливается касательно к поверхности пуансона 11 (рис. 3.11), и концы ее закрепляются в зажимах патрона 2. Зажимные патроны с помощью растяжных гидроцилиндров 4 перемещаются на некоторую величину, в результате чего происходят рихтовка и бо-



лее надежное закрепление заготовки в зажимах за счет самозаклинивания. При достижении усилия заданного уровня датчик давления в гидросистеме цилиндров дает команду на включение отсчета деформации заготовки.

Дальнейшее перемещение зажимных патронов растяжных гидроцилиндров обеспечивает заданное предварительное растяжение заготовки.

После этого гибочный гидроцилиндр 7 выполняет с помощью тяг 6 поворот гибочных рычагов 5 станка и осуществляется изгиб заготовки 10 на заданный угол. Движение зажимных патронов по определенной траектории обеспечивает постоянство предварительного растяжения в процессе изгиба.

По окончании изгиба заготовка дополнительно растягивается на заданную величину. После этого производятся разжим заготовки и постановка станка в исходное состояние.

Современные модели станков оснащаются устройствами ЧПУ, которые обеспечивают их работу в автоматическом режиме по заданной программе.

На предприятиях авиационной промышленности используется профилегибочный растяжной станок модели ПГР-6А, оснащенный устройством ЧПУ 2P32 типа CNC.

### **3.6.1. Структура программно-методического комплекса**

С автоматизацией проектирования при технологической подготовке производства деталей на станках ПГР связаны пять задач:

- 1) подготовка исходных данных по геометрии детали;
- 2) подготовка исходных данных по геометрии профиля;
- 3) проектирование и оптимизация технологического процесса;
- 4) проектирование технологической оснастки;
- 5) проектирование управляющих программ для станка ПГР с ЧПУ.

Данные задачи обозначим как проектные операции, которые являются частями общего процесса технологической подготовки производства деталей на станках ПГР (ТПП-ПГР). Для решения задач производства деталей на станках ПГР с ЧПУ на кафедре «Технологии самолетостроения» КНАГТУ разработан программно-методический комплекс (ПМК) [35].

Подготовку управляющих программ для изготовления оснастки на фрезерном станке рассматриваем как внешнюю операцию.

Проектным решением первой операции являются геометрические данные детали, полученные в виде В-сплайнов.

Проектным решением второй операции являются геометрический образ профиля, разбитый на элементарные полосы, и его геометрические характеристики: площадь сечения, положение центра тяжести и моменты инерции относительно горизонтальных осей, проходящих через его центр тяжести.

Проектным решением третьей операции являются параметры технологического процесса (ТП): величина предварительного растяжения, угол изгиба заготовки и величина калибрующего растяжения.

Проектным решением четвертой операции является описание геометрической формы оснастки, учитывающей *пружинение* детали при изготовлении на станке ПГР.

Проектным решением пятой операции является описание геометрии движения исполнительных органов станка ПГР в процессе изготовления детали, формализованное в виде УП для УЧПУ станка.

Для выполнения каждой проектной операции в составе ПМК выделены соответственно следующие подсистемы (ПС):

- ПС построения геометрической модели (ГМ) детали;
- ПС построения ГМ профиля;
- ПС моделирования ТП деформирования профильной заготовки;
- ПС построения ГМ оснастки;
- ПС автоматизированного программирования станка ПГР.

Состав, взаимосвязь и общая последовательность работы подсистем ПМК в процессе проектирования технологического процесса представлены на его структурно-функциональной схеме (рис. 3.12).

Подсистемы реализованы в виде отдельных программных модулей.

Опишем общий порядок выполнения проектных операций и соответственно работы подсистем ПМК, а также их интегрирование в цепочку технологической подготовки и непосредственного производства деталей.

Работа начинается с независимо работающих подсистем геометрического моделирования: ПС построения детали и ПС построения ГМ сечения профиля.

С помощью этих подсистем получают описание геометрических форм детали в плане и в сечении.

Далее, на основании полученных геометрических описаний детали, а также свойств ее материала, в ПС моделирования технологического процесса деформирования профильной заготовки выполняется определение напряженно-деформированного состояния заготовки на различных стадиях техпроцесса, определяется величина пружинения детали и осуществляются расчет и оптимизация параметров техпроцесса.

На следующем этапе в ПС построения ГМ оснастки рассчитывается геометрическая форма гибочного пуансона с учетом *пружинения* детали, т. е. производится корректировка обводообразующей части пуансона. Это геометрическое описание передается во внешнюю САМ-систему для подготовки управляющей программы на изготовление оснастки.

Конечным этапом работы ПМК является автоматизированное проектирование УП для станка ПГР на изготовление детали по спроектированной оснастке с соблюдением расчетных параметров техпроцесса.

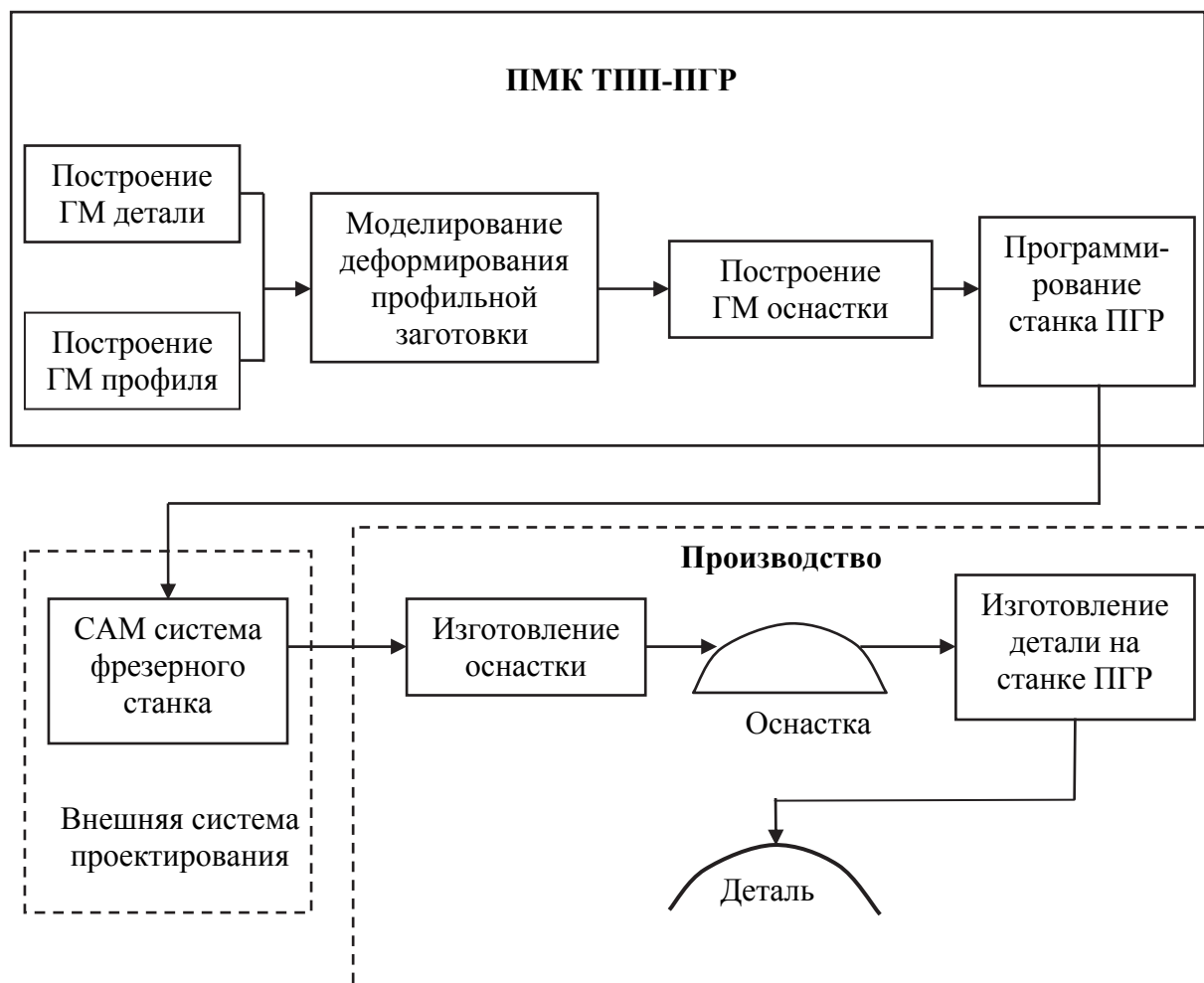


Рис. 3.12. Структурно-функциональная схема ПКМ и его интегрирование в производство

В составе информационного обеспечения ПКМ можно выделить три уровня:

- 1) входная информация;
- 2) внутренняя информация;
- 3) выходная информация.

Схема информационной модели ПКМ приведена на рис. 3.13.

Входную информацию представляют три категории данных:

- 1) данные, описывающие геометрическую форму детали в плане, задаваемые координатами опорных точек контура детали;
- 2) данные, описывающие геометрическую форму поперечного сечения детали, задаваемые параметрическим чертежом сечения профиля и наборами стандартных размеров;
- 3) данные материала заготовки, задаваемые его физико-механическими характеристиками.

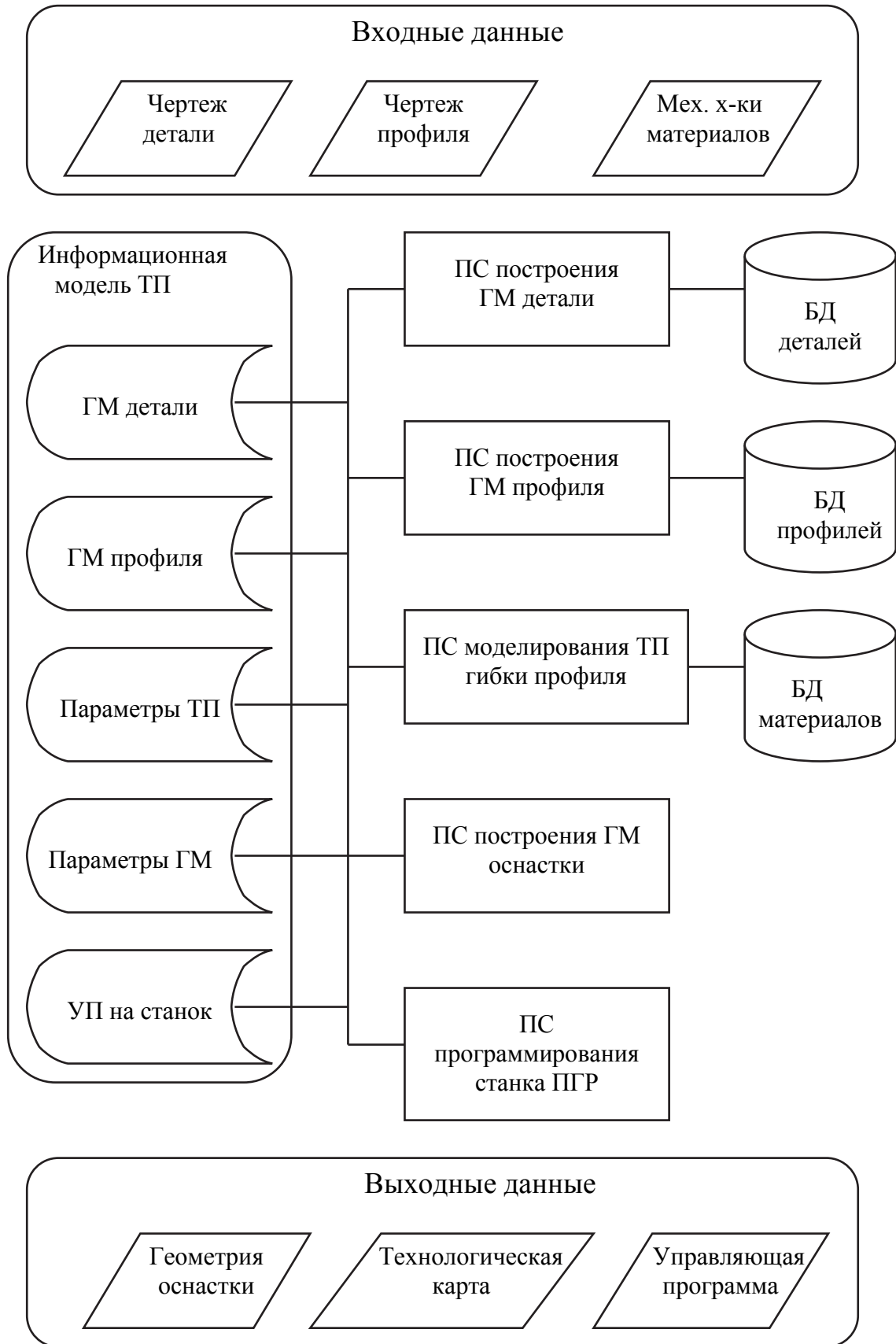


Рис. 3.13. Информационная модель ПМК

Состав внутренней информационной модели ПМК определяется информационными элементами, формируемыми отдельными подсистемами.

В составе внутренней информации ПМК выделены следующие информационные элементы:

- ГМ детали; ГМ профиля;
- ГМ оснастки;
- параметры технологического процесса деформирования;
- УП для станка.

Внутренняя информационная модель организационно разделена на локальные базы данных (БД) поддержки отдельных подсистем и динамическую модель технологического процесса.

Назначение локальных БД состоит в том, чтобы накапливать и повторно использовать входную информацию ПМК и данные, формируемые в процессе его работы.

В локальных БД хранятся: ГМ деталей; ГМ профилей; ГМ технологической оснастки; физико-механические характеристики материалов.

Динамическая информационная модель технологического процесса представляет собой совокупность всех данных, формируемых подсистемами ПМК при проектировании отдельного технологического процесса.

Такое объединение данных формирует полное описание проектируемого технологического процесса.

Процесс проектирования технологического процесса может быть приостановлен по окончании работы любой из подсистем и продолжен с любого этапа при измененных параметрах, при этом данные, уже имеющиеся в динамической модели технологического процесса, могут использоваться, если они не противоречат измененным параметрам проектирования.

Выходная информация, в соответствии с задачами проектирования и проектными решениями, представлена в ПМК тремя категориями:

- 1) данными, определяющими геометрию оснастки, которые предназначены для передачи во внешнюю систему проектирования с целью подготовки УП изготовления оснастки на фрезерном станке;
- 2) информационным обеспечением технологической операции изготовления детали на станке ПГР в виде технологической карты операции;
- 3) непосредственно УП для ЧПУ станка ПГР на выбранном виде носителя (магнитном диске, магнитной ленте, бумажной перфоленте и т. д.).

### 3.6.2. Методика расчета установочных параметров станка ПГР

На профилегибочном станке используется специальная система координат (рис. 3.14). Нулем станка является пересечение осей зажимных патронов  $X$ ,  $Y$  в исходном состоянии с осью симметрии станка. Перемещения от нуля станка отсчитываются в минус, к нулю – в плюс.

Поскольку на станке ПГР изготавливаются несимметричные детали, то рассматривают правую и левую специальные системы координат. Левая – это ось  $X$  – перемещение левого зажимного патрона и угол изгиба  $Z$ . Правая – это ось  $Y$  – перемещение правого зажимного патрона и угол изгиба  $U$ . Угловые координаты  $Z$  и  $U$  отсчитываются от касательной, проведенной к вершине контура оснастки и перпендикулярной к оси симметрии станка, до текущего положения осей растяжных гидроцилиндров.

Основная проблема, возникающая при выполнении обтяжки профиля по пуансону на станке ПГР, состоит в сохранении при изгибе усилия предварительного растяжения. Сложность заключается в том, что в процессе изгиба каретка растяжного цилиндра, закрепленная на гибочном рычаге, двигается по дуге окружности с центром в точке вращения рычага, а конец заготовки должен двигаться по эвольвенте к кривой контура пуансона. Поэтому, если штоки растяжных гидроцилиндров в процессе обтяжки будут неподвижны, то произойдет изменение усилия предварительного растяжения. Поэтому основной задачей при моделировании процесса обтяжки на станке с ПГР является определение величины перемещения зажимных патронов станка в зависимости от угла поворота рычагов.

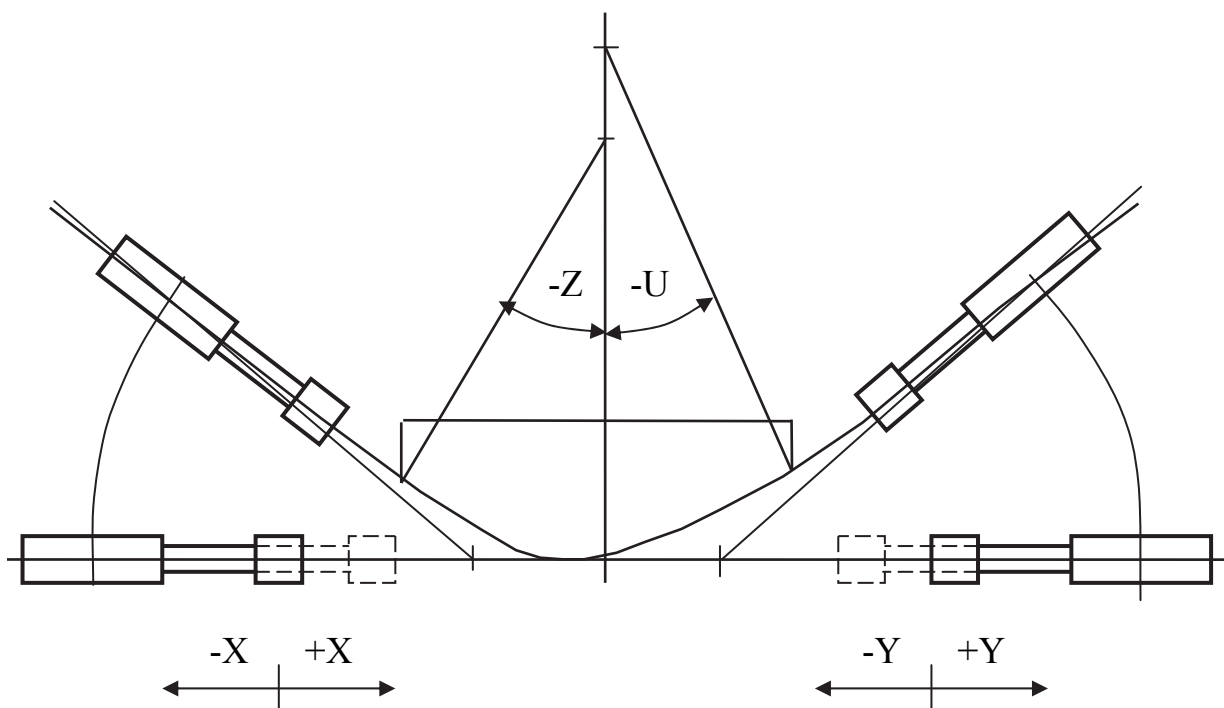


Рис. 3.14. Система программируемых координат станка ПГР

При моделировании процесса весь технологический цикл изгиба заготовки разбивается на конечное число  $n$  шагов.

Приращения углов поворотов рычагов станка по станочным координатам  $U$  и  $Z$  на каждом шаге цикла определяются выражениями

$$\Delta U = \frac{\alpha_{np}}{n}; \quad \Delta Z = \frac{\alpha_{лев}}{n},$$

где  $\alpha_{np}$  – угол изгиба заготовки для правой части оснастки;  $\alpha_{лев}$  – угол изгиба заготовки для левой части оснастки.

Методика расчета перемещений, которые должен выполнить шток растяжного гидроцилиндра при изгибе заготовки на угол  $\alpha_i$ , представлена в [35]. Методика позволяет определить наборы величин перемещений  $\{\Delta Y_i\}_{i=1}^n, \{\Delta X_i\}_{i=1}^n$ , задающих движения штоков растяжных цилиндров по станочным координатам  $X$  и  $Y$  для каждого шага гибки в соответствии с изменением координат  $U$  и  $Z$ .

Непосредственному выполнению операции формообразования детали предшествуют две операции позиционирования рабочих органов станка:

- 1) ручной вывод в заданные позиции кареток с растяжными гидроцилиндрами;
- 2) вывод под управлением программы зажимных патронов в позиции захвата заготовки.

Схема и параметры этих операций изображены на рис. 3.15.

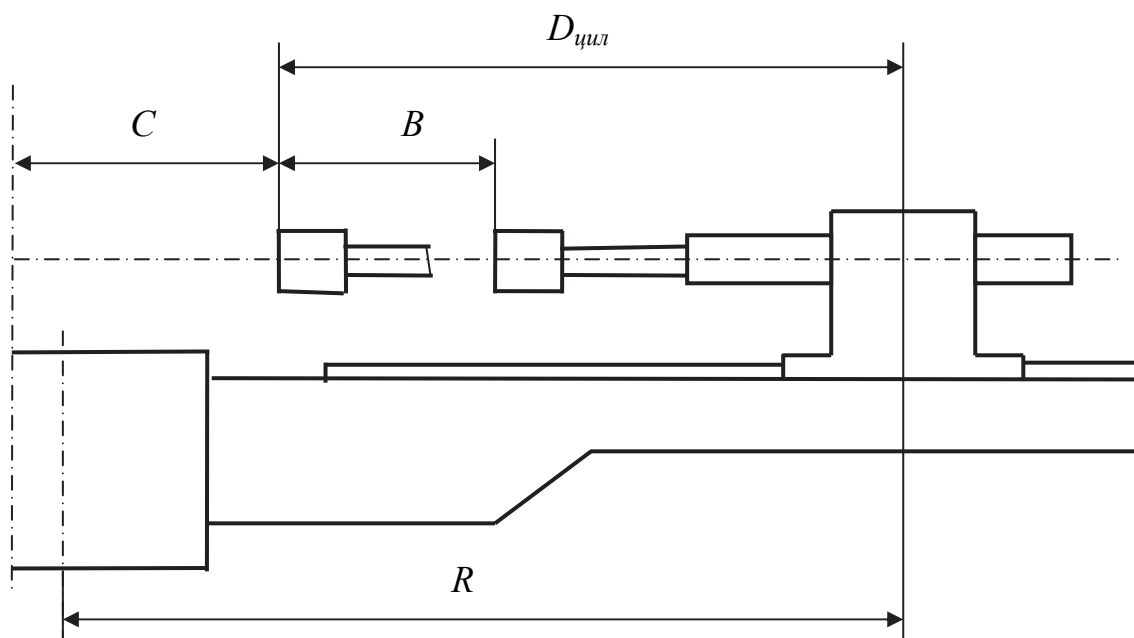


Рис. 3.15. Установочные параметры станка ПГР

Параметр  $C$  определяет положение каретки растяжного цилиндра на поворотном рычаге станка и выражается в расстоянии от оси симметрии станка до торца зажимного патрона, выдвинутого в крайнее положение.

Параметр  $B$  определяет положение зажимного патрона в момент захвата заготовки и задается расстоянием перемещения торца патрона из крайнего выдвинутого положения в положение захвата заготовки.

Параметр  $C$  может принимать только дискретные значения из ряда 110...2200 мм с шагом 110 мм.

Для построения математической модели расчета параметров  $C$  и  $B$  введем следующие величины:

$L_{деф}$  – деформируемая длина левой или правой части заготовки плюс припуск между торцом патрона и краем оснастки;

$S$  – смещение вершины оснастки  $V_c$  относительно оси симметрии станка;

$\delta_1$  – предварительное абсолютное удлинение левой или правой деформируемой длины заготовки;

$\delta_2$  – корректирующее абсолютное удлинение левой или правой деформируемой длины заготовки;

$\Delta^-$  – модуль суммарного отрицательного перемещения штока растяжного цилиндра в процессе гибки;

$\Delta^+$  – модуль суммарного положительного перемещения штока растяжного цилиндра в процессе гибки.

Величина  $L_{деф}$  вычисляется по следующей формуле:

$$L_{деф} = L_{\delta} \pm S + L_{нр1},$$

где  $L_{\delta}$  – длина дуги участка кривой  $V(t)$ , определяющей линию центров тяжести изогнутой части заготовки (для левой части заготовки участок кривой  $V(t)$  определяется интервалом изменения параметра  $[0, t_c]$ , для правой части – интервалом  $[t_c, 1]$ );  $S$  – значение  $x$  – координаты вершины  $V_c$  оснастки;  $L_{нр1}$  – припуск между торцом патрона и краем оправки (рис. 3.16).

Знак плюс перед символом  $S$  ставится в том случае, если рассматриваемый участок заготовки и вершина  $V_c$  оснастки лежат с одной стороны от оси симметрии станка, в противном случае ставится знак минус.

Для правого гибочного рычага  $S = x(t_c)$ , для левого гибочного рычага  $S = -x(t_c)$ .



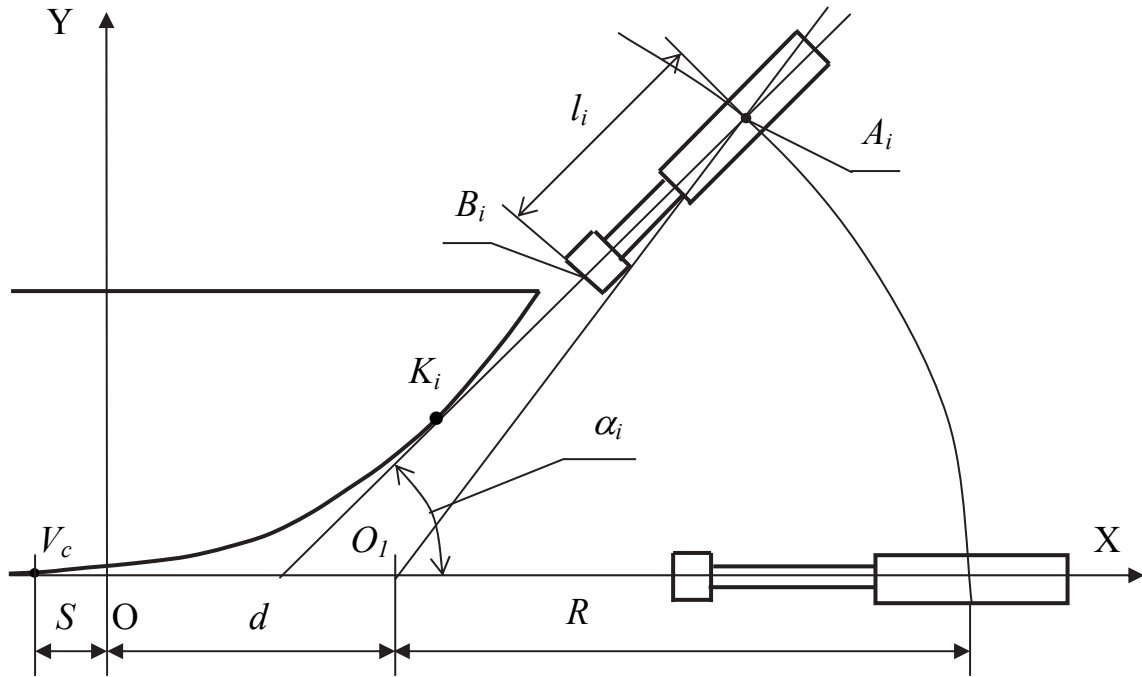


Рис. 3.16. Схема изгиба правой части заготовки

Величины  $\Delta^-$ ,  $\Delta^+$  определяются на основании наборов перемещений  $\{\Delta Y_i\}_{i=1}^n$ ,  $\{\Delta X_i\}_{i=1}^n$  зажимных патронов станка в процессе гибки заготовки:

- для правого гибочного рычага

$$\Delta^- = \sum_{i=1}^n |\Delta Y_i|, \text{ если } \Delta Y_i < 0; \quad \Delta^+ = \sum_{i=1}^n |\Delta Y_i|, \text{ если } \Delta Y_i > 0,$$

- для левого гибочного рычага

$$\Delta^- = \sum_{i=1}^n |\Delta X_i|, \text{ если } \Delta X_i < 0; \quad \Delta^+ = \sum_{i=1}^n |\Delta X_i|, \text{ если } \Delta X_i > 0.$$

В качестве установочного значения параметра  $C$  из дискретного ряда значений от 110 до 2200 выбирается ближайшее большее к величине  $L_{\text{деф}}$ . Например, если  $L_{\text{деф}} = 510$ , то  $C = 550$ .

Величина установочного параметра  $B$  зависит от перемещений, выполняемых в процессе гибки. Поэтому при расчете данного параметра будем рассматривать четыре варианта соотношения положительных и отрицательных перемещений зажимного патрона:

$$\delta_1 + \Delta^- < \Delta^+, \delta_2 < \Delta^+, \Delta^+ < D_{\text{max}}, \quad (3.1)$$

$$\delta_1 + \Delta^- < \Delta^+, \delta_2 > \Delta^+, \delta_2 < D_{\text{max}}, \quad (3.2)$$

$$\delta_1 + \Delta^- > \Delta^+, \delta_2 < \Delta^+, \delta_1 + \Delta^- < D_{\text{max}}, \quad (3.3)$$

$$\delta_1 + \Delta^- > \Delta^+, \quad \delta_2 > \Delta^+, \quad \delta_1 + \Delta^- + \delta_2 - \Delta^+ < D_{\max}, \quad (3.4)$$

где  $D_{\max}$  – максимальный ход растяжного цилиндра.

В соответствии с техническими характеристиками станка ПГР-6А  $D_{\max} = 600$  мм.

Все четыре варианта соотношений (3.1) – (3.4) величин перемещений зажимного патрона в процессе деформирования заготовки показаны на рис. 3.17, а – 3.17, г соответственно.

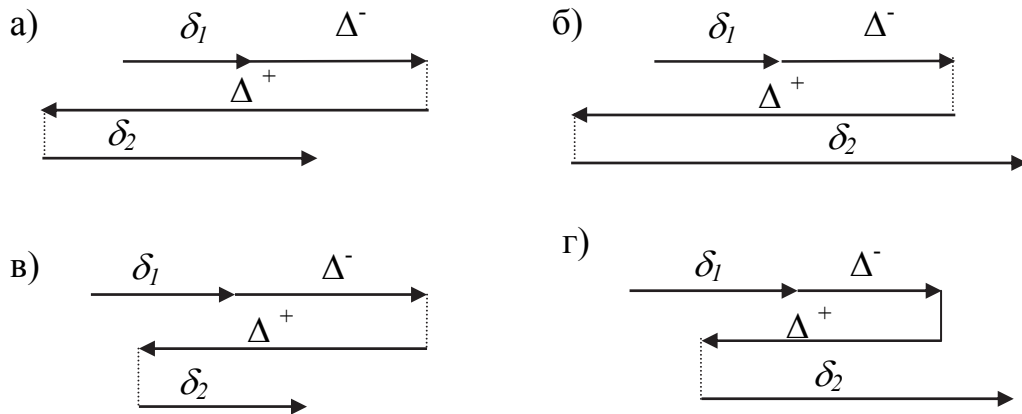


Рис. 3.17. Варианты перемещений зажимных патронов в процессе деформирования заготовки

Для каждого из четырех случаев (3.1) – (3.4) определяются минимальное  $B_{\min}$  и максимальное  $B_{\max}$  значения параметра  $B$ , в качестве установочного значения  $B$  выбирается среднее  $B_{cp}$  значение между ними.

Для случая (3.1):

$$B_{\min} = \Delta^+ - (\delta_1 + \Delta^-); \quad B_{\max} = D_{\max} - (\delta_1 + \Delta^-);$$

$$B = B_{cp} = \frac{B_{\min} + B_{\max}}{2} = \frac{1}{2} \cdot \Delta^+ - (\delta_1 + \Delta^-) + \frac{1}{2} \cdot D_{\max}.$$

Для случая (3.2):

$$B_{\min} = \Delta^+ - (\delta_1 + \Delta^-); \quad B_{\max} = D_{\max} - (\delta_1 + \Delta^-) - (\delta_2 - \Delta^+);$$

$$B = B_{cp} = \Delta^+ - (\delta_1 + \Delta^-) - \frac{1}{2} \cdot \delta_2 + \frac{1}{2} \cdot D_{\max}.$$

Для случая (3.3):

$$B_{\min} = 0; \quad B_{\max} = D_{\max} - (\delta_1 + \Delta^-);$$

$$B = B_{cp} = \frac{1}{2} \cdot (\delta_1 + \Delta^-) + \frac{1}{2} \cdot D_{\max}.$$

Для случая (3.4):

$$B_{\min} = 0 ; \quad B_{\max} = D_{\max} - (\delta_1 + \Delta^-) - (\delta_2 - \Delta^+);$$
$$B = B_{cp} = -\frac{1}{2} \cdot (\delta_1 + \Delta^- + \delta_2 - \Delta^+) + \frac{1}{2} \cdot D_{\max} .$$

После определения установочных данных рассчитывают требуемую для гибки длину правой или левой части заготовки:

$$L_{заг} = L_{деф} + B + L_{зах} , \quad (3.5)$$

где  $L_{зах}$  – величина припуска на захват заготовки в зажимном патроне.

Так как параметры процесса гибки и установочные параметры взаимосвязаны, то расчет установочных данных будет выполняться в следующей последовательности:

1) Вычисляется длина деформируемой части заготовки:

$$L_{деф} = L_0 \pm S + L_{np1} .$$

2) Определяется установочный параметр  $C$  как ближайшее большее к значению  $L_{деф}$  из дискретного ряда 110... 2200.

3) Определяется радиус  $R$  поворота растяжного цилиндра:

$$R = C + D_{цил} - d ,$$

где  $D_{цил}$  – расстояние от торца зажимного патрона в крайнем выдвинутом положении до оси поворота растяжного цилиндра (см. рис. 3.15);  $d$  – расстояние от оси симметрии станка до оси поворота гибочного рычага (см. рис. 3.16).

4) Рассчитываются перемещения  $\{\Delta Y_i\}_{i=1}^n, \{\Delta X_i\}_{i=1}^n$  зажимного патрона в процессе гибки.

5) Определяются максимальные перемещения  $\Delta^-, \Delta^+$  и вычисляется установочный параметр  $B$ .

6) Определяется длина заготовки по формуле (3.5).

### **3.6.3. Структура управляющей программы для станка ПГР с ЧПУ**

#### **Промежуточный язык программирования**

Для станка ПГР предлагается собственный набор операторов-параметров, необходимых и достаточных для описания операции изготовления детали. Сначала в программе-процессоре выполняются все необходимые расчеты и формируется управляющая программа на промежуточном языке.

Перечислим операторы-параметры промежуточного языка:  
 N – число дискретных перемещений за цикл гибки;  
 UgolZ – величина левого угла изгиба;  
 UgolU – величина правого угла изгиба;  
 Xn – линейное перемещение влево на n-м шаге гибки;  
 Yn – линейное перемещение вправо на n-м шаге гибки;  
 Zahvat – величина захвата заготовки;  
 StokX – исходное положение левого патрона перед зажимом заготовки;  
 StokY – исходное положение правого патрона перед зажимом заготовки;  
 Rast1X – величина линейного перемещения влево на этапе предварительного растяжения;  
 Rast1Y – величина линейного перемещения вправо на этапе предварительного растяжения;  
 Rast2X – величина линейного перемещения влево на этапе корректирующего растяжения;  
 Rast2Y – величина линейного перемещения вправо на этапе корректирующего растяжения.

### Структура управляющей программы на языке ЧПУ

Управляющая программа ЧПУ состоит из последовательности нумерованных кадров. Кадр состоит из информационных слов. Содержание кадров и их последовательность определяются конкретной обработкой для получения готовой детали.

Программа составляется таким образом, что в кадре записывается та геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру.

Информационное слово состоит из символьного адреса, его цифрового индекса и, в зависимости от типа адреса, целочисленного параметра.

Значение символов адресов приведено в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Применение символов в коде

Символ адреса	Значение символа адреса
<i>I</i>	<i>2</i>
F	Скорость подачи
G	Подготовительная функция
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
R	Формальный параметр
U	Угол гiba заготовки справа, если смотреть со стороны заготовки

Продолжение табл. 3.3

<i>I</i>	<i>2</i>
X	Перемещение параллельно оси X
Y	Перемещение параллельно оси Y
Z	Уголгиба заготовки слева, если смотреть со стороны заготовки

Все подготовительные и вспомогательные функции, необходимые для построения управляющей программы, приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Подготовительные функции G и вспомогательные функции M

Код	Назначение
G01	Линейная интерполяция
G91	Задание перемещений в приращениях
M02	Конец программы. Выполняется переход на начало программы
M30	Конец ленты
M80	Разжим патронов и опускание ограждения
M81	Возврат в исходное положение крыльев и растяжных цилиндров до жесткого упора и сброс накопителей X,Y,Z,U
M82	Выключение отсечного магнита после отработки геометрии
M90	Проверка исходного состояния станка перед началом отработки управляющей программы
M91	Включение отсечного магнита, разрешающего движение по указанным координатам. Разрешенные координаты задаются в параметре R1 путем суммирования цифр: 1-X, 2-Y, 4-Z, 8-U. Магниты остаются включенными на все время движения до появления функции M82
M92	Зажим левого патрона от кнопки на крыле
M93	Наезд правым патроном на заготовку и зажим патрона от кнопки на крыле. Патрон проходит расстояние, заданное в параметре R2
M94	Зажим патронов и поднятие ограждения

Программа начинается своим номером, который обозначается символами: % 0 – % 9.

Заканчивается программа кадром с командой M02.

Перед физическим концом ленты помещается команда M30.

В программе для задания перемещений по станочным координатам X, Y, Z, U используются целочисленные значения в дискретных единицах.

По координатам Z и U одна дискретная единица перемещения равна 0,01 град, а по координатам X и Y одна дискретная единица перемещения равна 0,01 мм.

На основании этой информации все расчетные перемещения пересчитываются по следующим формулам:

- для линейных координат X, Y

$$n_x = 100 \cdot \Delta X, \quad n_y = 100 \cdot \Delta Y;$$

- для угловых координат Z, U

$$n_z = 100 \cdot \frac{\Delta Z}{\pi} \cdot 180, \quad n_u = 100 \cdot \frac{\Delta U}{\pi} \cdot 180,$$

где  $n_x, n_y, n_z, n_u$  – перемещения по соответствующим координатам, дискретные ед.;  $\Delta X, \Delta Y$  – расчетные перемещения по линейным координатам X и Y, мм;  $\Delta Z, \Delta U$  – расчетные перемещения по угловым координатам Z и U, рад.

Значения расчетных величин перемещений по линейным и угловым координатам определяются по методикам, представленным в [35].

#### **3.6.4. Структура системы автоматизированного программирования станка ПГР**

Система автоматизированного программирования станка ПГР предназначена для реализации проектной операции составления управляющей программы для станка ПГР на изготовление детали.

Функционально САП разделена на две независимо работающие программы: процессор и постпроцессор.

Программа-процессор предназначена для выполнения геометрических расчетов траектории движения зажимов станка в процессе деформирования заготовки, а также расчета исходных установочных параметров станка.

Результатом работы процессора является полностью рассчитанная траектория движения рабочих органов станка, записанная в его системе координат.

Программа-постпроцессор выполняет непосредственное формирование УП.

Внутренняя реализация постпроцессора ориентирована на конкретное сочетание «система управления – станок».

Структурная схема программы-процессора САП приведена на рис. 3.18.

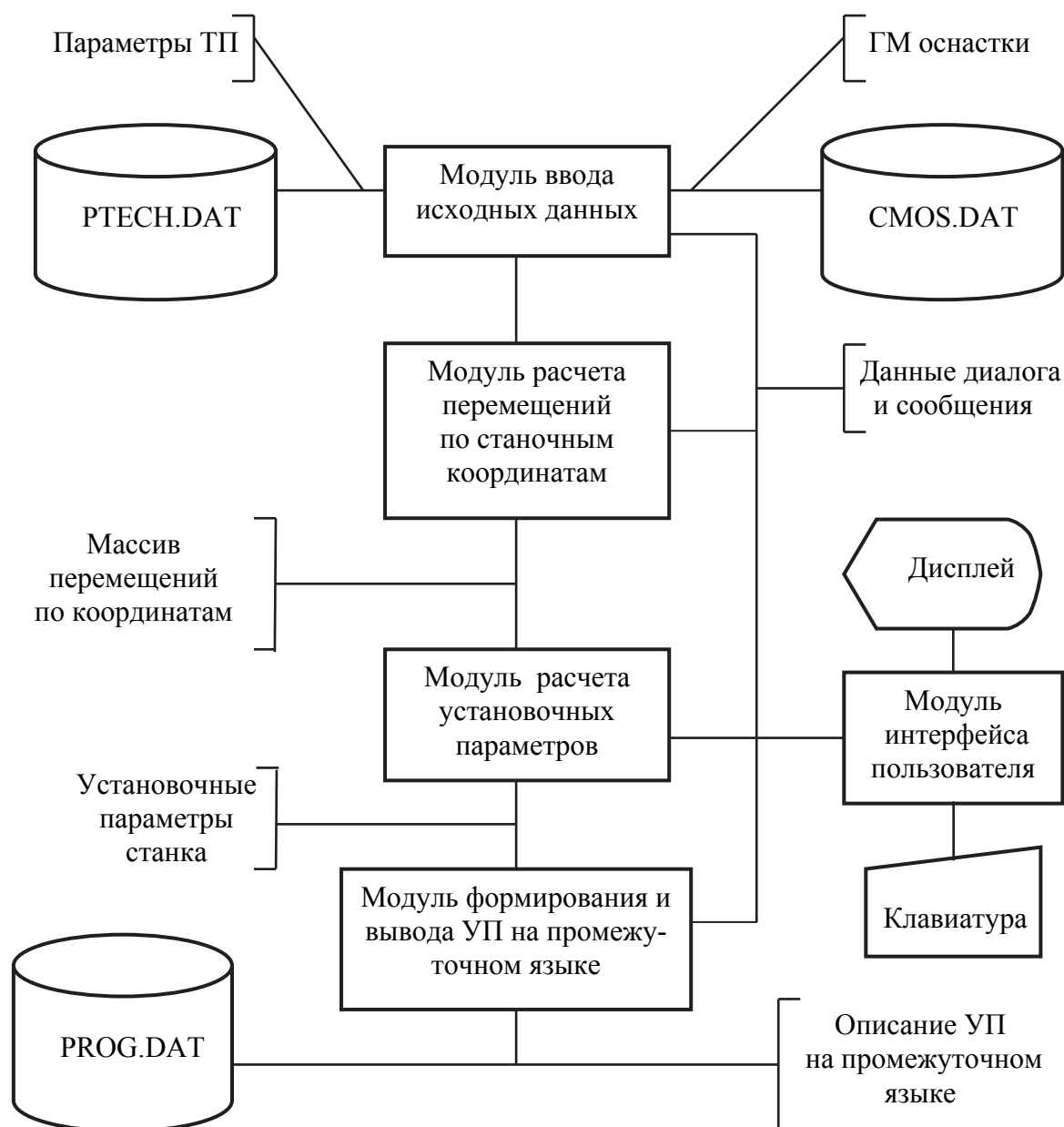


Рис. 3.18. Структурная схема программы-процессора САП

В составе программы-процессора выделены следующие функциональные модули:

- модуль ввода исходных данных;
- модуль расчета перемещений по станочным координатам;
- модуль расчета установочных параметров;
- модуль интерфейса пользователя;
- модуль формирования и вывода УП на промежуточном языке.

В состав информационных массивов программы-процессора входят:

- ГМ оснастки;

- параметры ТП деформирования;
- массивы перемещений по координатам;
- установочные параметры станка;
- описание УП на промежуточном языке.

Входную информацию программа-процессор считывает из файлов GMOS.DAT, PTECH.DAT. Выходная информация в виде описания УП на промежуточном языке записывается в файл PROG.DAT.

Структурная схема программы-постпроцессора САП приведена на рис. 3.19.

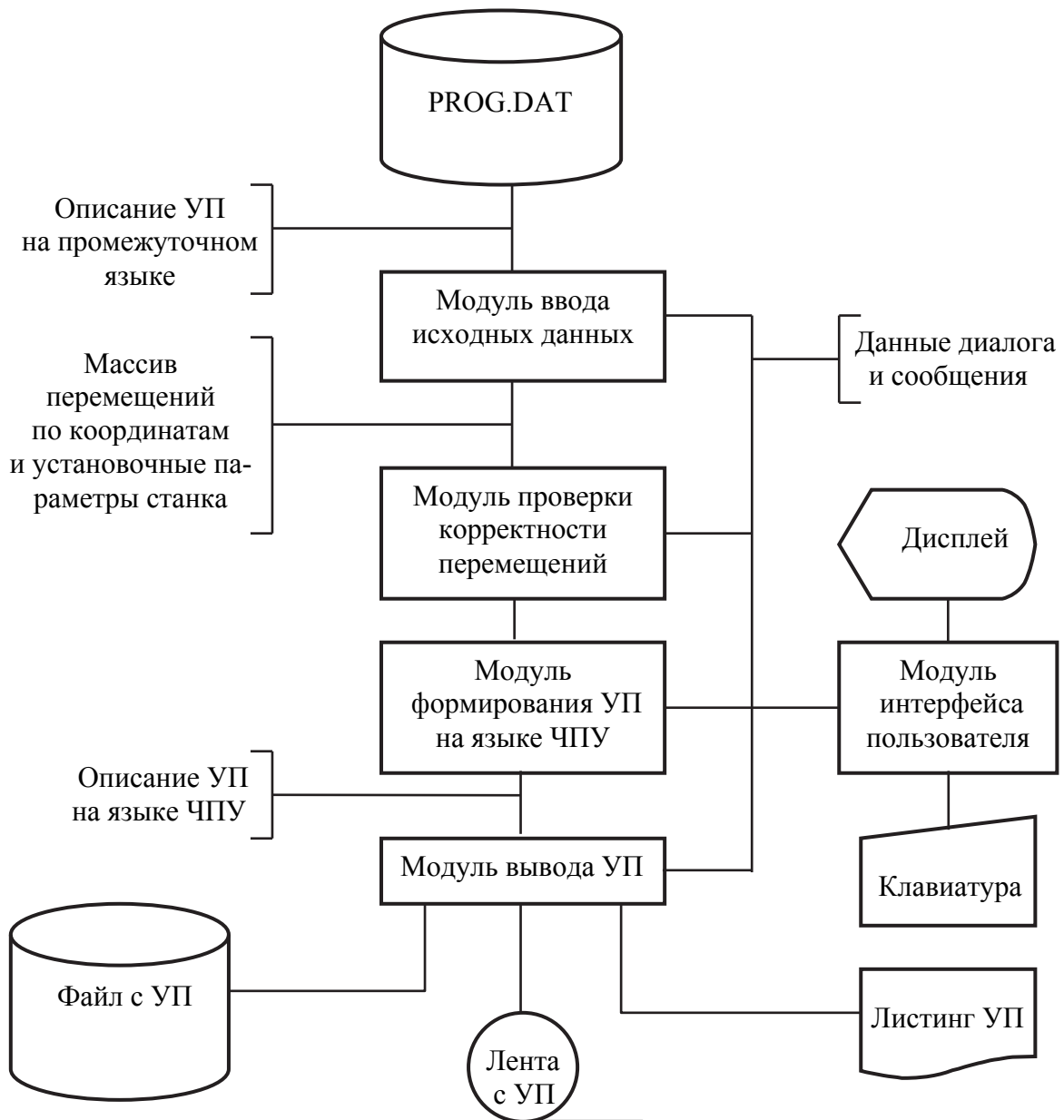


Рис. 3.19. Структурная схема программы-постпроцессора САП



В составе программы-постпроцессора выделены следующие функциональные модули:

- модуль ввода исходных данных;
- модуль проверки корректности перемещений;
- модуль формирования УП на языке ЧПУ;
- модуль интерфейса пользователя;
- модуль вывода УП.

Входную информацию программа-постпроцессор считывает из файла PROG.DAT.

Выходная информация, в виде описания УП на языке конкретного ЧПУ, может записываться на жесткий диск в указанный пользователем файл, выводиться на печатающее устройство или через устройство вывода на перфоленту.

### **3.6.5. Методика проектирования технологического процесса гибки деталей на станке ПГР с ЧПУ**

В методическом обеспечении автоматизированных систем можно выделить следующие элементы описания:

- описание входных данных;
- описание математических методов, используемых при проектировании;
- описание состава, назначения и порядка выполнения процедур в процессе проектирования;
- описание выходных данных.

В соответствии с такой структурой поэтапно опишем методику проектирования технологического процесса изготовления деталей на станке ПГР.

#### ***Этап 1. Проектная операция описания геометрической формы детали в плане.***

Данная операция реализуется ПС построения ГМ детали. Математические методы, используемые для выполнения данной операции, изложены в [35].

Входными данными для данной операции является набор координат опорных точек, лежащих на линии центров тяжести детали. Эти данные могут быть получены обмером шаблона детали на координатно-измерительной машине или определены из аналитической формы задания контура детали.

Операция состоит из следующих процедур:

- 1) ввода исходных данных из файла или ввода координат точек в режиме диалога;

2) построения интерполяционной модели контура, определяющего форму детали в плане. Процедура сопровождается изображением контура на графическом дисплее;

3) занесения контура детали в локальную БД ПС для повторного использования;

4) процедуры формирования файла ГМ детали. Процедура заключается в разбиении контура детали на расчетные сечения и определении в этих сечениях значений кривизны контура и длин дуг полученных сегментов контура.

Выходные данные состоят из файла ГМ детали (GMDT.DAT), в который выводятся три набора данных:

- 1) параметры интерполяционной функции контура детали;
- 2) значения кривизны;
- 3) значения длин дуг.

### ***Этап 2. Проектная операция расчета геометрических характеристик сечения профиля.***

Данная операция реализуется ПС построения ГМ профиля.

Входными данными для операции являются:

- 1) чертеж профиля детали;
- 2) численные значения размеров;
- 3) номер профиля.

Операция состоит из следующих процедур:

1) вычерчивания контура профиля и простановки параметрических размеров;

2) занесения чертежа в локальную графическую БД;

3) занесения наборов численных значений размеров в локальную текстовую БД;

4) выборки чертежа и типоразмера требуемого профиля из БД по его номеру.

5) формирования ГМ профиля, состоящей из его дискретной модели и геометрических характеристик.

Общий порядок выполнения процедур соответствует порядку изложения, но в случае нахождения необходимого чертежа в БД выполнение операции может начинаться с 4-й процедуры.

Выходные данные записываются в файл ГМ профиля (GMPR.DAT) и состоят:

1) из дискретной модели сечения, задаваемой конечным набором значений ширины профиля для различных высот;

2) геометрических характеристик сечения: площади, центра тяжести, момента инерции.

### ***Этап 3. Проектная операция расчета параметров ТП деформирования профильной заготовки.***

Данная операция реализуется ПС моделирования ТП деформирования профильной заготовки.

Входными данными являются:

- 1) файл ГМ детали (GMDT.DAT), подготовленный на 1-м этапе проектирования;
- 2) файл ГМ профиля (GMPR.DAT), подготовленный на 2-м этапе проектирования;
- 3) величины предварительного и корректирующего растяжений заготовки в процентном отношении к длине;
- 4) марка материала заготовки.

Операция состоит из следующих процедур:

- 1) задания в режиме диалога величин растяжения заготовки и марки материала;
- 2) расчета параметров ТП для заданных условий и записи их в файл.

Выходные данные состоят из следующих файлов:

- 1) файла параметров ТП (PTECH.DAT), который содержит величины заданных растяжений заготовки и конечный набор абсолютных удлинений линии центров тяжести детали под нагрузкой в расчетных сечениях;
- 2) файла KDN.DAT, содержащего набор значений кривизны детали под нагрузкой в расчетных сечениях.

#### ***Этап 4. Проектная операция получения описания геометрической формы оснастки.***

Данная операция реализуется ПС построения ГМ оснастки. Входными данными являются:

- 1) файл ГМ детали (GMDT.DAT), подготовленный на 1-м этапе проектирования;
- 2) файл (KDN.DAT) со значениями кривизны детали под нагрузкой.

Операция состоит из следующих процедур:

- 1) построения интерполяционной модели контура оснастки;
- 2) размещения контура оснастки в системе координат станка ПГР;
- 3) задания центров установочных отверстий оснастки;
- 4) построения дополнительных эквидистантных контуров;
- 5) формирования ГМ оснастки;
- 6) вывода ГМ оснастки в файл экспорта в формате DXF, IGES.

Выходные данные состоят из следующих файлов:

- 1) файла ГМ оснастки (GMOS.DAT), который содержит параметры интерполяционной функции контура оснастки и установочные данные оснастки на столе станка ПГР;
- 2) файла данных, экспортируемого во внешнюю систему изготовления оснастки, который содержит описание одного или нескольких эквидистантных контуров оснастки, заданных либо параметрами сплайн-функции, либо наборами координат опорных точек.

### ***Этап 5. Проектная операция расчета УП на выполнение гибки детали на станке ПГР.***

Операция выполняется ПС автоматизированного программирования станка ПГР.

Входными данными являются:

- 1) файл ГМ оснастки (GMOS.DAT), подготовленный на 4-м этапе проектирования;
- 2) файл параметров ТП (PTECH.DAT), подготовленный на 3-м этапе проектирования;
- 3) величина припуска на захват заготовки;
- 4) число дискретных шагов операции гибки.

Операция состоит из следующих процедур:

- 1) ввода в режиме диалога величины припуска и числа шагов гибки;
- 2) автоматического расчета перемещений по управляющим координатам станка, установочных параметров станка и требуемой длины заготовки;
- 3) формирования описания УП на промежуточном языке «процессор-постпроцессор»;
- 4) формирования технологической карты операции гибки;
- 5) обработки постпроцессором описания УП на промежуточном языке «процессор-постпроцессор» и формирования УП на языке ЧПУ;
- 6) вывода УП на носитель информации: в файл, на программноноситель.

Выходными данными являются:

- 1) УП на заданном виде носителя;
- 2) описание ТП в виде технологической карты с указанием: типа профиля, длины заготовки, установочных параметров станка, установочных параметров оснастки.

## **3.7. Разработка управляющих программ для клепального автомата с ЧПУ**

### ***3.7.1. Общие сведения о клепальном автомате IPAC***

При изготовлении современных самолетов на предприятиях авиационной промышленности используют клепальные автоматы с ЧПУ. На ОАО «КнААПО» для клепки панелей фюзеляжа и крыла самолета SSJ-100 применяются клепальные автоматы IPAC (Integrated Panel Assembly Cell) фирмы BRÖTJE-Automation.

Технические возможности клепального автомата IPAC позволяют за каждый цикл автоматической работы выполнять следующие технологические операции:

- автоматическое перемещение и контроль позиционирования рабочих элементов и объекта обработки;
- фиксацию соединяемых деталей;
- измерение толщины соединяемых деталей;
- сжатие пакета;
- выбор сверла с соответствующими параметрами;
- сверление отверстия;
- сверление и зенкование;
- в случае необходимости уплотнение зенкованной поверхности;
- автоматический выбор заклепки по типу и длине;
- установку и осаждение заклепки;
- расклепывание заклепки с заданным усилием;
- фрезерование головки заклепки со стороны верхнего инструмента;
- измерение высоты замыкающей головки заклепки;
- разблокировку фиксатора соединяемых элементов;
- переход к следующей точке и др.

Указанные операции могут быть выполнены в ручном режиме управления с помощью пульта оператора.

#### **Технические характеристики клепального автомата**

Габаритные размеры автомата, мм:

длина .....	27196,0
ширина .....	10605,2
высота .....	8940,0
Масса, кг .....	102911
Усилие сжатия пакета, даН .....	100...1200
Усилие осаждения, даН .....	1000...8000
Максимальное число оборотов режущего инструмента, об/мин .....	18000
Наибольший диаметр расклепываемых заклепок, мм .....	6
Число типоразмеров заклепок .....	5
Точность регулирования глубины зенкования, мм.....	0,015

На клепальном автомате могут обрабатываться панели с максимальной длиной 14000 мм и максимальной шириной 3540 мм.

К основным элементам конструкции клепального автомата IPAC относятся:

- станина;
- верхний инструмент;
- нижний инструмент;
- поворотная рама;
- станции загрузки заклепок;
- пульт управления;

- система дистанционных датчиков;
- системы обеспечения функционирования автомата.

Кроме этих элементов, устройств и систем в конструкцию клепального автомата входят поддерживающе-выравнивающие устройства и приводы перемещения элементов конструкции автомата.

На рис. 3.20 представлена схема конструкции клепального автомата ИРАС.

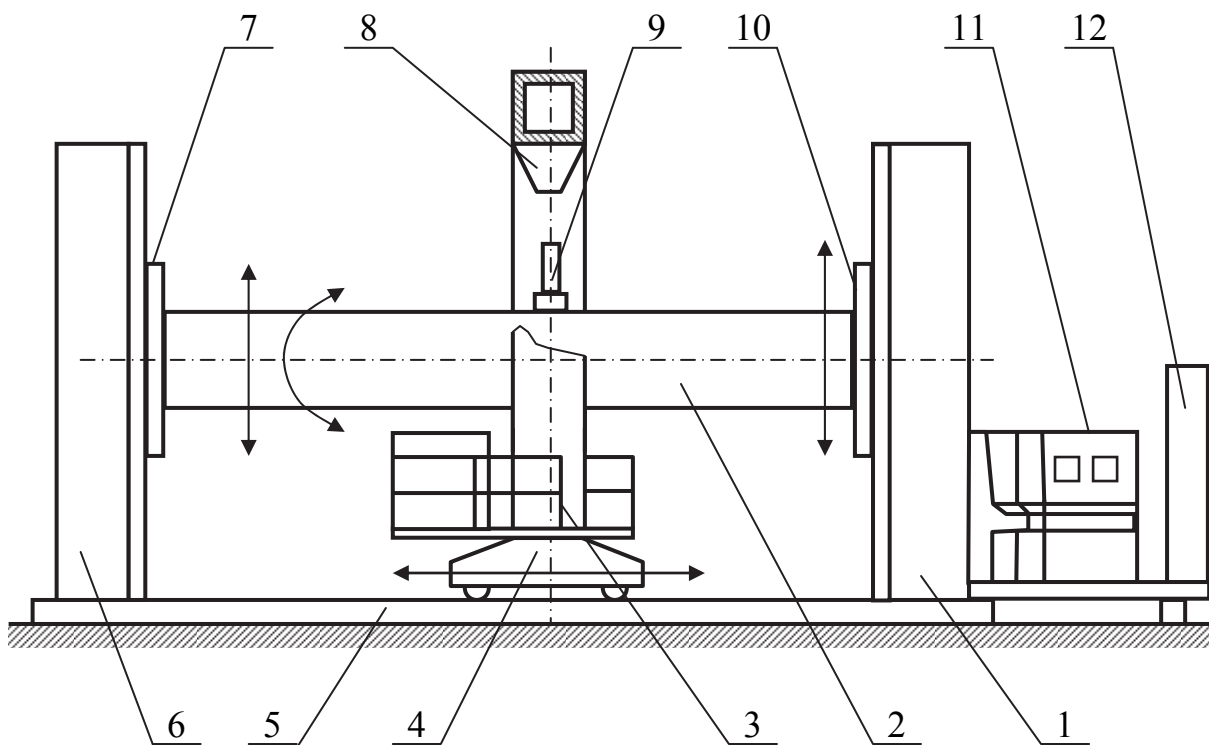


Рис. 3.20. Схема конструкции клепального автомата: 1 – правая стойка; 2 – рама; 3 – станина; 4 – каретка станины; 5 – рельсовая направляющая; 6 – левая стойка; 7 – каретка левой стойки; 8 – верхний инструмент; 9 – нижний инструмент; 10 – каретка правой станины; 11 – пульт управления; 12 – распределительный шкаф

Станина и рама входят в состав системы позиционирования, назначение которой – установка рабочих устройств автомата и объекта обработки в положение, необходимое для выполнения технологических операций.

Рама состоит из двух продольных и двух поперечных балок коробчатого типа, установлена на каретках, которые могут перемещаться по направляющим двух колонн-стоек. Рама может также выполнять вращение вокруг своей оси. Рама служит для размещения и фиксации технологической оснастки (паллеты) с панелью. Перемещения рамы позволяют установить панель в положение, требуемое для выполнения технологических операций при обработке.

Верхний и нижний инструменты располагаются на станине портального типа, установленной на каретках, которые могут перемещаться по рельсовым направляющим в продольном направлении вдоль рамы.

Верхний инструмент может перемещаться вдоль поперечной балки станины. Нижний инструмент может выполнять вращательное движение вокруг своей оси.

Верхний инструмент состоит из устройств, позволяющих выполнять сверление отверстий, осаждение головок заклепок, фрезерование и др.

Нижний инструмент состоит из устройств, обеспечивающих сжатие пакета, осаждение головок заклепок, измерения толщины заготовки, измерение длины заклепки, измерение высоты замыкающей головки заклепки, контроль, контроль усилия зажима, контроль усилия осаждения и др.

В конструкцию верхнего инструмента входят:

- фрезерный узел;
- сверлильный узел;
- устройство подачи заклепок;
- узел обжимки;
- устройство подачи смазки;
- устройство подачи герметика;
- датчики контроля и видеонаблюдения.

Конструкция нижнего инструмента состоит из следующих элементов:

- зажимного цилиндра;
- подъемного привода;
- рамы нижнего инструмента (свода);
- опорного кронштейна.

Нижний инструмент является сменным и поставляется в различном исполнении.

В состав пульта управления клепальным автоматом входят следующие устройства:

- ПК оператора;
- шесть мониторов;
- клавиатура устройства позиционирования;
- клавиатура УЧПУ;
- клавиатура управления процессами и камерами;
- щит управления процессами запуска и остановки оборудования;
- сервисный ПК;
- ручка управления ЮКАВ для работы в тестовом режиме.

Для управления может также использоваться мобильный переносной пульт управления КЕТОР.

Станция загрузки заклепок включает в себя комплекс механизмов, состоящий из бункерного устройства с приводом, путепровода, досылателя

заклепок до кассетных ячеек. Назначение станции – загрузка и заполнение кассет заклепками. Станция управляет количеством заклепок, которое вводится оператором в процессе загрузки.

К системам обеспечения функционирования относятся: система охлаждения, система прогрева, система узлов электрооборудования, блок подачи питания, блок бесперебойного питания, системы гидравлических и пневматических узлов.

### **3.7.2. Разработка маршрута обработки панели**

Исходной информацией для подготовки УП служит технологическая электронная модель (ТЭМ) панели с указанными элементами технологического крепежа в деталях продольно-поперечного набора.

В ТЭМ для каждой точки крепежа выполняется назначение атрибутов: таких как ОСТ крепежа, типоразмер, точки вставки, вектора направления. Кроме ТЭМ панели для подготовки УП требуется также маршрут обработки (клепки) панели.

**Маршрут клепки панели** – это графическое отображение траектории перемещений инструмента при выполнении процесса автоматической клепки.

Маршрут разрабатывается на эскизе панели, на котором указываются начальные и конечные точки обработки и стрелками – направления перемещений инструмента.

Маршрут клепки панели разрабатывают таким образом, чтобы в процессе выполнения заклепочного соединения в пакетах относительно малой толщины обеспечить минимальные деформации, исключить образование хлопунов, утяжек и пр.

В соответствии с данными требованиями обработку панели выполняют по определенным правилам, например: при клепке поперечных элементов от краев к центру, при клепке продольных элементов – от центра к краям, переходя последовательно от стрингера к стрингеру и др.

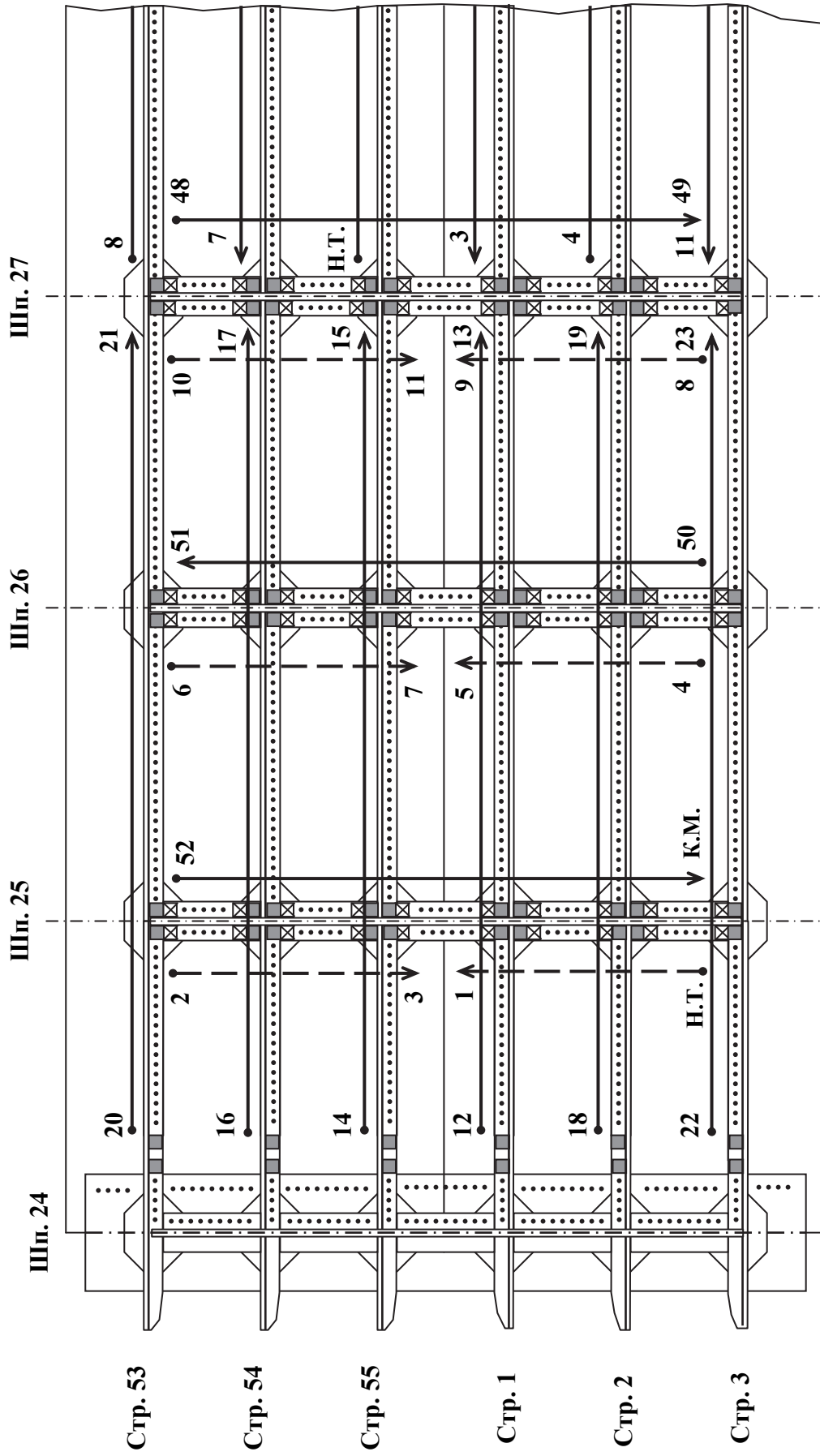
В начале составления маршрута клепки панели выбирают исходную точку, от которой начинают цикл обработки, и определяют положение технологического крепежа относительно исходной точки. В качестве исходной точки может быть выбрано любое место постановки технологического крепежа или любая другая точка.

Маршрут может быть разделен на зоны обработки – участки панели, характеризующиеся постоянным размером перемишки, диаметром и длиной заклепок и др.

Маршрут включают в технологию, по которой непосредственно выполняют работу операторы клепальных автоматов.

Пример маршрута клепки панели фюзеляжа представлен на рис. 3.21.





■ – места установки технологического крепежа; ☒ – места установки заклепок в зоне фиксации стрингера (ЗФС);  
 Н.Т. – начальная точка маршрута; К.М. – конечная точка маршрута; ● – конечная точка маршрута; ● – начальная точка маршрута; ---> – маршрут выполнения ЗФС;  
 ●> – маршрут выполнения штатных швов

Рис. 3.21. Фрагмент маршрута клёпки панели фюзеляжа

### **3.7.3. Принципы задания координат и движений рабочих элементов автомата**

Управление клепальным автоматом осуществляется системой ЧПУ SIEMENS SINUMERIC 840D с интегрированной PLC для позиционера и дополнительной PLC для клепального автомата.

Управление осуществляется через систему визуализации процесса, на базе PC с возможностью участия оператора.

Система включает следующие элементы:

- систему ЧПУ SINUMERIC 840D, с интегрированной S7-300 PLC и подающих модулей для осей позиционера;
- интерфейс «человек-машина» OP15, включая PCU50 и клавиатуру ЧПУ;
- цифровой штурвал для ручной коррекции смещения осей X, Y, W, Z;
- PLC S7-400 с требуемыми программами для управления заклепками и функциями AFFS;
- PC870 PC с программой для системы визуализации процесса для заклепок;
- подвесной пульт для ручного управления клепальной головкой автомата.

При обработке движение рабочих элементов и технологической оснастки с зафиксированной панелью осуществляется вдоль пяти осей поступательного движения (X, Y, Y1, Z, W) и двух осей вращения (A, E).

Система координат клепального автомата представлена на рис. 3.22.

На клепальном автомате типа IPAC к свободно движущимся осям, получающим свою собственную координату движения, относятся оси X, Z, W, E.

Вдоль оси X осуществляется перемещение кареток портала. Каретки синхронизированы и движутся отдельно только при сборочно-монтажных работах по сборке автомата. Вращение рабочей рамы вокруг оси X обозначается буквой A. Вращение нижнего инструмента вокруг оси Z обозначается буквой E.

По осям Y, Y1 задаются перемещения нижнего и верхнего инструментов. Перемещения инструментов синхронизированы, т.е. они передвигаются синхронно и имеют одну общую координату передвижения в процессе работы. Во время настроечных работ эти оси можно расцепить и задавать для каждой свою нужную координату путем ввода через панель управления в ручном режиме.

Для каждой из осей существует нулевая, контрольная точка отсчета координат. Поступательное движение вдоль осей измеряется в миллиметрах, с точностью измерений до 0,001 мм. Погрешность измерений зависит от точности настройки нулевых точек, которые записываются и сохраняются в базе данных блока памяти станка. Для осей вращения также уста-

навливаются нулевые точки, а измерения перемещений отображаются в градусах, с точностью до 1 мин.

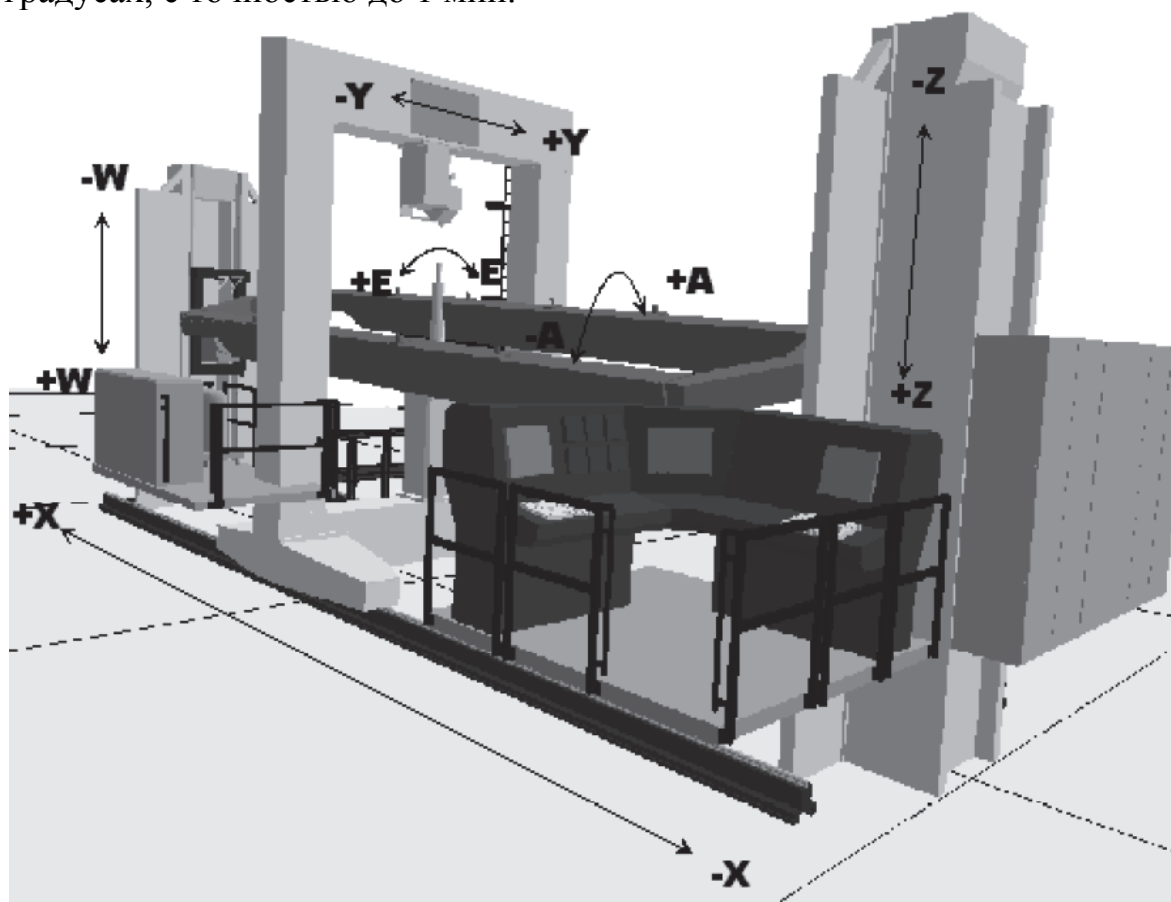


Рис. 3.22. Координатная система клепального автомата IPAC

В табл. 3.5 указаны максимальные и минимальные значения перемещений верхнего и нижнего инструментов, рамы и станины.

Таблица 3.5

Обозначение осей и предельных значений перемещений

Обозначение	Перемещение	Макс. (+)	Мин. (-)
X	Параллельно агрегатам	15882 мм	- 1430 мм
Y	Вертикально по отношению к оси X	1390 мм	- 1390 мм
E	Вращение вокруг оси Z, нижний инструмент	380 град.	- 20 град.
A	Вращение для рамы, стойка Z	60 град.	- 60 град.
A1	Вращение для рамы, стойка W	60 град.	- 60 град.
Z	Поднять/опустить раму, стойка Z	4675 мм	- 735 мм
W	Поднять/опустить раму, стойка W	4675 мм	- 735 мм

### 3.7.4. Структура управляющей программы для клепального автомата IPAC

Управляющая программа для клепального автомата IPAC состоит из кадров. В каждом из них содержится определенная информация.

Кадр может содержать либо только технологическую функцию, либо слова перемещений по соответствующим осям с указанием их численных значений.

Под технологической функцией подразумевается выполнение действия при обработке панели: установка в требуемое положение инструмента, выбор параметров заклепки, смена инструмента и т. д.

Каждая технологическая функция имеет свой код в виде набора букв, в скобках указываются числовые параметры, например высота установки инструмента, код инструмента, параметры заклепки и др.

Создание управляющей программы обязательно начинается с задания функций инициализации, без них программа не будет считываться УЧПУ станка. К функциям инициализации относятся:

- HEAD – инициализация, активация программы ЧПУ (начало программы);
- FIN – завершение программы.

Остальные кодировки относятся к определенным технологическим и дополнительным функциям.

В табл. 3.8 указаны обозначения и назначения некоторых команд, используемых в процессе обработки панели.

Таблица 3.8

Обозначения и назначения команд

Команда	Назначение
MSL	Открытие нового окна программы
MSG	Сообщение для оператора станка
HALT	Программный останов
LA	Выбор нижнего инструмента
LW	Рабочая высота нижнего инструмента
FCP	Выбор заклепочного кода с определенными параметрами
NSEN	Включение датчика корректировки нормали установки заклепки
DSEN	Включение/отключение датчиков дистанции
LUP	Перемещение нижнего инструмента на рабочий уровень
LROT	Угол поворота нижнего инструмента
PSEN	Включение датчика позиционирования
CS	Запуск цикла обработки

Рассмотрим некоторые функции.

**Функция «Выбор заклепочного кода с определенными параметрами».** Обозначение FCP(xxx,yy,zzz,i1). Первая группа цифр xxx служит для указания типа заклепки, вторая группа yy обозначает диаметр стержня заклепки (0,1 мм), третья группа zzz обозначает длину заклепки (0,1 мм), четвертая группа i1 служит для установки параметра в диапазоне 0...9. За каждой цифрой параметра закрепляется определенная последовательность действий, выполняемая автоматом. Например: команда FCP(046,50,125,1) задает заклепку с шифром 34046-80D50, диаметром 5 мм, длиной стержня 12,5. В соответствии с данным номером автомат производит следующие действия:

- выбирает кассету в системе выбора заклепки;
- сохраняет в соответствии с заданными показателями: усилие осаждения, усилие зажима, глубину зенкования, значения подачи и перемещения сверла и др.

**Функция «Частота вращения сверла».** Обозначение DS(i). Группа i1 означает частоту вращения сверла в диапазоне 500...18000 об/мин. Например: команда DS(2000) задает частоту вращения 2000 об/мин.

**Функция «Выбор нижнего инструмента».** Обозначение LA(i1), i1 – набор наименований нижнего инструмента.

Рассмотрим примеры нумерации наименований нижнего инструмента:

- 01 Прямой нижний инструмент 332.2 м, d = 4/5 мм;
- 04 Прямой нижний инструмент 332.2 м, d = 6 мм;
- 11 С-образный нижний инструмент 332.2 мм, d = 4/5 мм;
- 14 С-образный нижний инструмент 332.2 мм, d = 6 мм;
- 22 Прямой нижний инструмент 332.2 мм, d = 4 мм;
- 23 Прямой нижний инструмент 332.2 мм, d = 5 мм и др.

Все функции и значения перемещений задаются в системе автоматизированного программирования «BA-OLPS» (Brötje-Automation Off-Line Programming System), предназначенной для создания управляющих программ для клепального автомата IPAC. В системе «BA-OLPS» формируются УП на языке УЧПУ автомата.

Кроме ТЭМ панели и маршрута обработки панели, для проектирования УП также необходимы ТЭМ оснастки и файл данных обработки заклепок – файл FPDF (Fastener Process Data File).

Файл FPDF – это текстовый электронный документ с данными о заклепках, применяемых при образовании заклепочных соединений конкретной панели. Файл формируется на основе информации ТЭМ панели.

Перемещения в УП задаются в абсолютной системе координат.

Схема этапов разработки УП для клепального автомата представлена на рис. 3.23.

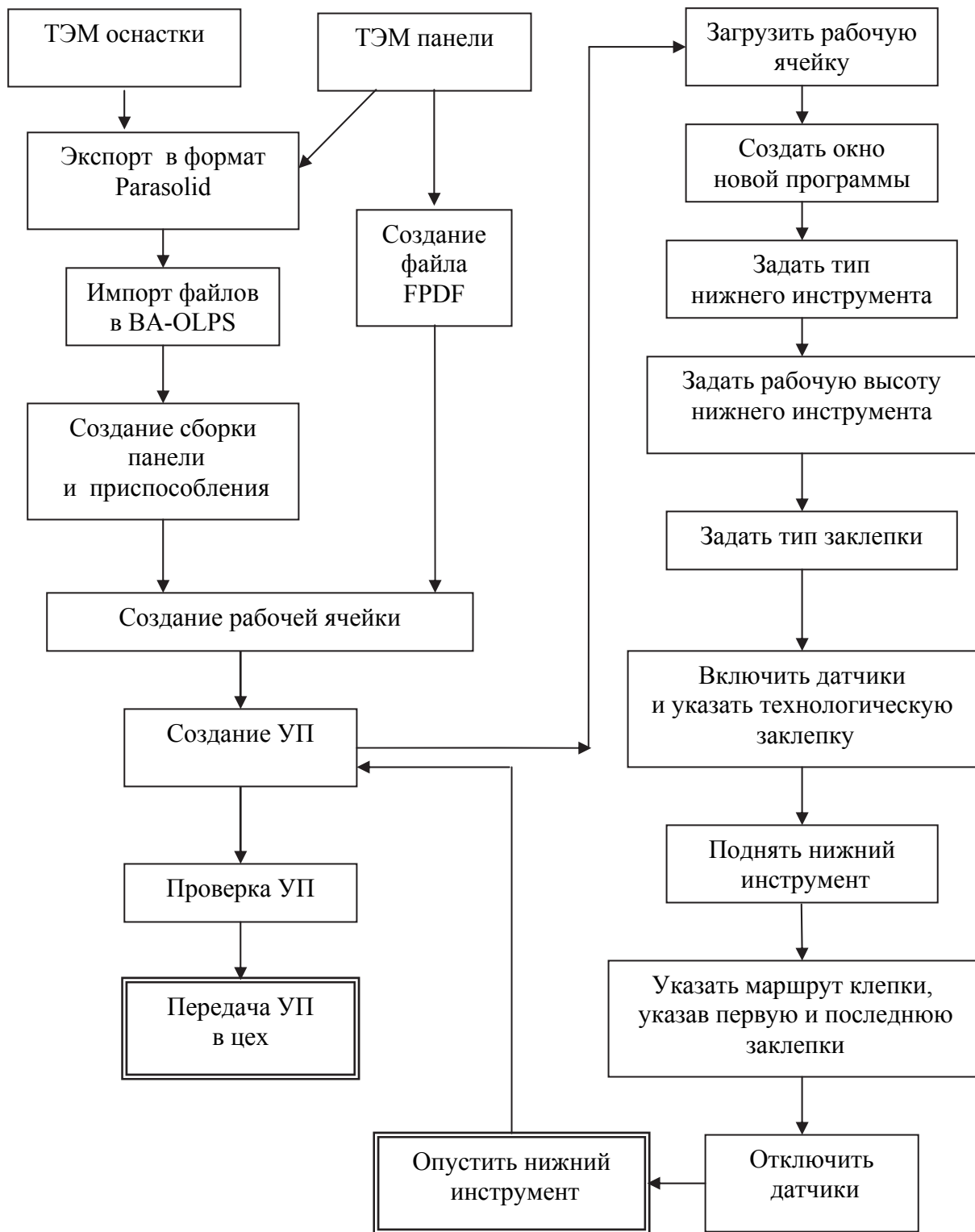


Рис. 3.23. Этапы разработки управляющих программ для клепального автомата с ЧПУ

В окончательном виде программа выглядит текстовым документом с форматом, поддерживаемым УЧПУ клепального автомата (рис. 3.24).

```

*****
:!!BA-OLPS BNC: B:/BA-OLPS/USERLIB/PROGRAMS/TRAINING/SANIN/first_programm_test.gsl
:!!BA-OLPS FPDF: B:/BA-OLPS/USERLIB/PROCESS/FPDF/T7/T7_92_0461/main.fpdf
:!!BA-OLPS CADF: PANEL/T7/T7_92_0461/T7_92_0461.dev
:!!BA-OLPS USER: *EOF*
:!!BA-OLPS DATE: *EOF*
*****
:
:
:
:
*****
N0010 HEAD()
N0015 MSG("MAKE SURE IPAC is in HOME POSITION !!!")
N0020 MSG("LOAD TOOLING and PANEL -T7_92_0461-!!!")
N0025 HALT(0)
N0030 LA(01)
N0035 LW(200)
N0040 FCP(046,50,125,0)
N0045 X5292.7500 Y9.8000 Z1627.7000 W1627.7000 A23.1880 ; - a0461_t_01_z100 -
N0050 X5292.7500 Y9.8002 Z1527.7000 W1527.7000 A23.1880 ; - a0461_t_01 -
N0055 NSEN(1,1)
N0060 DSEN(1,1,1)
N0065 PSEN(1)
N0070 X5242.7500 Y9.5338 Z1527.8101 W1527.8101 A22.5253 ; - a0461_89_01_xn50 -
N0075 LROT(270.0)
N0080 LUP()
N0085 X5292.7500 Y9.5337 Z1527.8101 W1527.8101 A22.5253 ; - a0461_89_01 -
N0090 CS()
N0095 X5292.7500 Y9.2543 Z1527.9301 W1527.9301 A21.7946 ; - a0461_89_02 -
N0100 CS()
N0105 X5292.7500 Y8.0967 Z1528.3600 W1528.3600 A18.9685 ; - a0461_89_03 -
N0110 CS()
N0115 X5292.7500 Y7.7861 Z1528.4600 W1528.4600 A18.2371 ; - a0461_89_04 -
N0120 CS()
N0125 X5292.7500 Y7.5435 Z1528.5400 W1528.5400 A17.6410 ; - a0461_89_05 -
N0130 CS()
N0135 LD(500)
N0140 X5292.7500 Y7.1006 Z1528.6801 W1528.6801 A16.5775 ; - a0461_t_11 -
N0145 PSEN(1)
N0150 X5292.7500 Y6.8293 Z1528.7600 W1528.7600 A15.9150 ; - a0461_90_01 -
N0155 LUP()
N0160 CS()
N0165 X5292.7500 Y6.5299 Z1528.8400 W1528.8400 A15.1840 ; - a0461_90_02 -
N0170 CS()

```

Рис. 3.24. Пример фрагмента УП для клепального автомата

### Контрольные вопросы

- 1) Дайте определение понятия «числовое программное управление».
- 2) Как классифицируются системы с ЧПУ?
- 3) Дайте определение понятия «управляющая программа».
- 4) Объясните структуру управляющей программы.
- 5) Каково назначение подготовительных и вспомогательных функций?
- 6) Как задаются перемещения в управляющей программе?
- 7) Какие способы задания координат перемещений используются при разработке управляющих программ?
- 8) Опишите структуру системы автоматизированного программирования.
- 9) Каково назначение программы «Процессор»?
- 10) Каково назначение программы «Постпроцессор»?
- 11) Опишите структуру управляющей программы для станка ПГР.
- 12) Каково назначение маршрута клепки панели?

## 4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Проектирование** – процесс создания описаний нового или модернизируемого технического объекта (изделия, процесса), достаточных для изготовления или реализации этого объекта в заданных условиях. Проектирование реализуется выполнением проектных процедур.

**Проектная процедура** – часть процесса проектирования, заканчивающаяся получением проектного решения.

**Проектное решение** – промежуточное или конечное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для рассмотрения и определения дальнейшего направления или окончания проектирования.

Проектирование может быть концептуальным, структурным и параметрическим.

*Концептуальное проектирование* относят к проектированию «верхнего уровня». Его выполняют при отсутствии информации о возможной структуре объекта проектирования. Главными задачами концептуального проектирования является определение целей, ограничений, основных функций и укрупненной структуры объекта, а также альтернативных вариантов его реализации.

При *структурном проектировании*, зная входные и выходные характеристики объекта, основные принципы его построения и функционирования, определяют его элементный состав и структуру. В автоматизированных системах проектирования технологических процессов (САПР ТП) к структурному проектированию относят задачи определения структуры маршрутного ТП или технологической операции.

*Параметрическое проектирование* реализует результаты структурного проектирования для определения количественных значений параметров элементов. Этот вид проектирования используют в САПР ТП при определении параметров операции (режимов резания, норм времени и т. д.).

Формирование проектного решения начинают с синтеза исходного варианта структуры объекта проектирования, который заключается в определении элементного состава объекта, например, списка технологических операций, и установлении связей между элементами, например, порядка выполнения технологических операций.

Для оценки синтезированного варианта структуры объекта используют его математическую модель. Выбирают исходные значения параметров элементов и выполняют анализ объекта – определяют его свойства по структуре и значениям параметров. Оценка варианта объекта проектирования заключается в проверке соответствия его характеристик заданным (желаемым). Если решение удовлетворяет разработчика, то на соответствующий объект оформляется документация. Если решение не удовлетворяет



разработчика, то для улучшения решения можно изменить параметры объекта без изменения его структуры.

Совокупность процедур анализа, оценки результатов и модификации (изменения) параметров называют параметрическим синтезом.

Если полученное в результате параметрического синтеза проектное решение не соответствует техническому заданию, то изменяют структуру объекта, вплоть до синтеза новой структуры.

Если результаты проектирования соответствуют требованиям, то выполняется формирование технологической документации.

#### 4.1. Методы проектирования технологических процессов

При изготовлении деталей авиационных конструкций используются различные методы, наиболее широкое применение находят методы механообработки.

Процесс изготовления детали может быть представлен в виде обобщенной схемы (рис. 4.1).

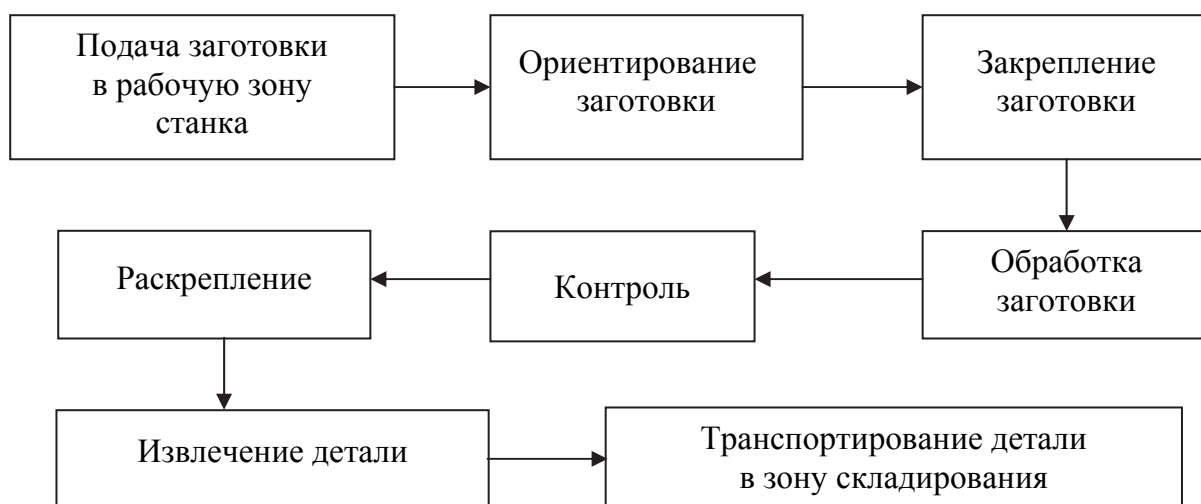


Рис. 4.1. Этапы процесса изготовления детали

Маршрутная технология состоит из последовательности операций по обработке конкретной детали, например:

- 1) заготовительная;
- 2) токарная;
- 3) фрезерная;
- 4) термообработка.

Технологическая операция, например «Токарная», может состоять из следующих переходов:

- 1) точить поверхность;

- 2) точить канавку;
- 3) нарезать резьбу;
- 4) отрезать деталь.

Для каждой операции в ТП указываются оборудование, инструмент и оснастка. В переходах задаются технологические режимы обработки: величина подачи, частота вращения шпинделя и др.

В авиастроении при изготовлении деталей планера самолета используется листовая штамповка. Операции листовой штамповки делятся на разделительные и формообразующие. Назначение разделительных операций – раскрой листовых и профилированных полуфабрикатов.

К разделительным операциям относятся: отрезка, разрезка, вырубка, надрезка, проколка, пробивка, обрезка, зачистка, высечка, просечка.

Назначение формообразующих операций – превращение плоских или прямолинейных заготовок в детали пространственных форм.

К формообразующим операциям относятся: формовка, гибка, чеканка, обтяжка, отбортовка, обжим, раздача, калибровка, вытяжка, прошивка, высадка и др.

Процесс сборки летательных аппаратов представляет совокупность технологических процессов узловой сборки (сборки нервюр, шпангоутов, лонжеронов, панелей), агрегатной сборки (сборки секций, отсеков, агрегатов) и окончательной сборки (стыковки агрегатов, выполнении монтажей и регулировки бортовых систем).

Обобщенная схема процессов узловой и агрегатной сборки представлена на рис. 4.2.



Рис. 4.2. Этапы сборки узлов и агрегатов

При сборке составных частей летательных аппаратов широкое применение находят заклепочные соединения.

Технологические процессы выполнения заклепочных соединений состоят из следующих операций: сборки под клепку, образования отверстий в сопрягаемых элементах конструкции, образование гнезд (зенкования) в случае использования потайных заклепок, вставки заклепок, клепки (ударным или прессовым методами) и контроля. Если требуется, обеспечивается герметичность соединения нанесением герметика внутришовным, поверхностным или комбинированным методами.

В картах ТП сборки узлов и агрегатов указываются применяемый инструмент, технологическая оснастка, количество и диаметр отверстий, количество и тип заклепок, нормы времени и др.

Исходную информацию для разработки ТП подразделяют на базовую, руководящую и справочную.

*Базовая информация* – сведения, содержащиеся в конструкторской документации на изделие (чертежах, электронных моделях деталей и сборочных единиц, технических условиях, спецификациях и других документах) и в программе выпуска.

*Руководящая информация* включает данные, содержащиеся в следующих документах:

- стандартах и руководящих материалах, устанавливающих требования к технологическим процессам и методам управления ими, а также в стандартах на оборудование и оснастку;
- программах и планах повышения технического уровня производства и совершенствования его организации;
- документации на перспективные технологические процессы;
- документации на действующие единичные, типовые и групповые технологические процессы;
- классификаторах технико-экономической информации;
- производственных инструкциях;
- материалах по выбору технологических нормативов;
- документации по технике безопасности и промышленной санитарии.

*Справочная информация* включает данные, содержащиеся в следующих документах:

- технологической документации опытного производства;
- описаниях прогрессивных методов обработки;
- каталогах, паспортах, справочниках, альбомах компоновок СТО;
- методических материалах по типовым методам расчета производительности, точности и стабильности технологических процессов;
- планировках производственных участков;
- методических материалах по управлению технологическими процессами.

Основные этапы разработки ТП, задачи, решаемые на каждом этапе, основные документы и системы, обеспечивающие решение этих задач, должны соответствовать рекомендациям нормативных документов [12].

Необходимость каждого этапа, состав задач и последовательность их решения определяются в зависимости от вида и типа производства и устанавливаются стандартами предприятия.

Разработка единичных технологических процессов механической обработки включает следующие основные этапы:

- 1) анализ исходных данных; на этом этапе также определяются такт выпуска, тип производства и его организационная форма;
- 2) классификация и группирование объектов производства;
- 3) выбор действующего типового или группового ТП;
- 4) выбор исходной заготовки и методов ее изготовления;
- 5) выбор технологических баз;
- 6) составление технологического маршрута обработки;
- 7) разработка технологических операций: выбор последовательности выполнения переходов, СТО, назначение и расчет припусков, режимов резания;
- 8) расчет точности, производительности и технико-экономической эффективности ТП;
- 9) нормирование ТП;
- 10) оформление технологической документации.

При разработке типового ТП добавляются этапы количественной оценки групп объектов производства и анализа типовых представителей объектов производства. Не выполняются этапы выбора типового и группового ТП и нормирования.

При разработке группового ТП добавляются этапы количественной оценки групп объектов производства и разработки технических мероприятий по реализации техпроцесса. Исключаются этапы выбора типового и группового ТП, выбор технологических баз и вида обработки.

Исходными данными для проектирования ТП сборки элементов летательных аппаратов являются:

- 1) рабочая конструкторская документация (чертежи и электронные модели, спецификации) и ТУ на изготовление изделия;
- 2) директивные технологические материалы;
- 3) сведения об условиях производства.

Разработка ТП сборки ведется на основе *анализа* конструктивно-технологических свойств изделия. Основными свойствами, влияющими на процесс сборки, являются:

- 1) степень и характер членения конструкции, обеспечивающие возможности дифференциации сборочных работ.

2) требования к точности и взаимозаменяемости функциональных контуров, определяющие выбор методов сборки, способов базирования и сборочных баз;

3) виды и конструктивное выполнение соединений, определяющие состав операций и выбор оборудования и инструмента;

4) жесткость конструкции и входящих элементов, определяющая состав и конструктивное исполнение сборочных приспособлений.

Разработка технологических процессов сборки включает следующие основные этапы:

1) выбор рациональной схемы сборки;

2) выбор способов базирования и сборочных баз;

3) разработка технического задания на проектирование сборочного приспособления;

4) назначение ТУ на поставку узлов и деталей;

5) определение состава и порядка выполнения операций;

6) выбор оборудования, состава технологической и контрольной оснастки;

7) выбор инструмента;

8) выбор методов контроля;

9) нормирование ТП;

10) расчет экономической эффективности ТП;

11) оформление технологической документации.

Степень углубленности проектирования технологических процессов (маршрутное или операционное описание) зависит от типа производства.

Технологический процесс сборки летательного аппарата и агрегатов предусматривает построение цикловых графиков сборки.

Технологический процесс сборки оформляют в виде технологических карт маршрутного или операционного описания со ссылками на типовые процессы и операции, технологические нормалы, ТУ, производственные инструкции, инструкции по технике безопасности и другие материалы.

Технологическая карта сборки является документом, регламентирующим техническое содержание сборочных работ. Для регламентации организационного содержания сборочных работ применяются следующие документы: сборочные задания и технологические паспорта на сборку узлов, отсеков и агрегатов [28].

*Сборочное задание* представляет собой описание комплекса операций, выполняемых одним или несколькими рабочими для сборки одной сборочной единицы в течение определенного отрезка времени.

*Технологический паспорт* представляет собой документ, в котором ТП представлен в виде последовательного перечня сборочных заданий и в котором каждый исполнитель и контролирующие лица после выполнения соответствующей работы ставят подписи.

*Унификация ТП.* Важным фактором повышения эффективности проектирования ТП является унификация, применение при проектировании типовых и групповых ТП и операций.

Методика типизации, основанная на классификации деталей, их элементов, ТП обработки была разработана проф. А.П. Соколовским.

В качестве классификационных признаков детали принимают: форму (конфигурацию) детали, размеры, точность обработки и качество обрабатываемых поверхностей, материал. Классификация строится по схеме *класс* → *подкласс* → *группа* → *тип*.

Основой классификационного подразделения является класс, который представляет собой совокупность деталей определенной конфигурации, характеризующихся общностью технологических задач, возникающих при их изготовлении. Каждый класс разбивается на подклассы по конфигурации деталей; подклассы, в свою очередь, на группы (подгруппы), а каждая группа (подгруппа) разбивается на типы. Подклассы, группы и подгруппы служат промежуточными звеньями классификатора и самостоятельного значения не имеют.

*Типом* называется совокупность сходных по конструктивным признакам деталей, имеющих в данных производственных условиях общий технологический процесс. Следовательно, конечной целью классификации деталей является установление типов деталей. Целью же разработки типовых ТП является систематизация ТП для обработки однотипных деталей. Технологический процесс разрабатывается для каждого типа детали и состоит из типовых операций.

*Типовая технологическая операция* – технологическая операция, характеризующаяся единством содержания и последовательности технологических переходов для группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

Разработка типовых технологических процессов сборки узлов и агрегатов планера летательных аппаратов также может быть основана на классификации сборочных единиц по конструктивно-технологическим признакам. Классификация может выполняться по схеме *класс* → *группа* → *подгруппа* → *вид* → *тип*.

Признаков, характеризующих конструктивно-технологические свойства сборочных единиц планера летательного аппарата, достаточно много, однако их можно объединить в четыре группы: структурные (характеризующие состав и функциональное назначение), геометрические (характеризующие форму, взаимное расположение элементов), точностные и физико-механические.

Примеры признаков классификации сборочных единиц:

- конфигурация: плоские, длинномерные, пространственные, одинарной кривизны, двойной кривизны;

- связь с обводами агрегатов: непосредственный выход на обшивку, не участвующие в образовании обводов;
- характер силового набора: с продольным силовым набором; с поперечным силовым набором; с комбинированным набором;
- связь с другими элементами конструкции: несущие стыковые элементы, без стыковых элементов;
- вид соединения: клепаные, сварные, клееные, болтовые, клееклепаные;
- способы герметизации и др.

В результате классификации должен быть получен определенный *тип* – совокупность сборочных единиц, собираемых в данных производственных условиях по одному технологическому процессу. Из сборочных единиц каждого типа выбирается одна, наиболее характерная, которая считается типовой. Для этой сборочной единицы разрабатывается технологический процесс, определяются оборудование и оснастка, которые должны быть применимы для всех сборочных единиц данного типа. Типовой является сборочная единица, сборка которой требует выполнения наибольшего числа операций относительно сборки других сборочных единиц данного типа.

Применяется также вариант типизации технологических процессов исходя из классификации операций, выполняемых при сборке элементов конструкции летательных аппаратов. По структуре ТП, а также в зависимости от характера взаимосвязи с другими операциями выделяют следующие группы: основные, предварительные, дополнительные и вспомогательные операции. По функциональному назначению операции можно разделить на группы: установка или снятие, фиксация или расфиксация, соединение и др.

Пример группирования сборочных единиц, собираемых методом сборки по отверстиям, схемы и процессы сборки типовых элементов планера самолета представлены в [33].

Создание типовых ТП позволяет избегать повторных и новых разработок при проектировании рабочих ТП, что ведет к сокращению времени на ТПП. Разработка баз данных типовых ТП позволяет эффективно использовать современные информационные технологии при проектировании ТП.

Типизация ТП осуществляется на уровнях предприятия или отрасли. На отраслевом уровне выполняется разработка типовых ТП соответственно межотраслевого и внутриотраслевого применения.

Групповые ТП (второе направление унификации ТП, впервые разработанное проф. С.П. Митрофановым) находят применение в различных отраслях промышленности.

За основу метода, так же, как и при типизации ТП, принимают технологическую классификацию деталей, заканчивающуюся формированием *групп*. Однако построение классификации деталей для групповой обработки существенно отличается от классификации деталей при типизации ТП. Если при типизации процессов в общий класс объединяют детали и заготовки по принципу общности их *конфигурации, технологического маршрута*, то при групповой обработке основным признаком объединения деталей в группы по отдельным технологическим операциям является общность обрабатываемых поверхностей или их сочетаний, т. е. общность *оборудования*, необходимого для обработки детали или ее отдельных поверхностей.

В состав группы могут включаться заготовки различной конфигурации. В этом смысле понятие группы значительно шире понятия типа деталей, являющегося основой построения типового процесса. Поэтому групповые методы обработки характерны для обработки деталей с широкой номенклатурой, типичной для единичного, мелкосерийного производства.

При формировании групп деталей учитывают следующие признаки: общность обрабатываемых поверхностей, их точность и шероховатость поверхностей, однородность материала заготовок, близость размеров, серийность выпуска и трудоемкость обработки деталей.

Основой разработки группового ТП и выбора общих СТО для совместной обработки группы изделий служит комплексная деталь (изделие).

Под *комплексной* понимается реальная или условная (искусственно созданная) деталь, содержащая в своей конструкции все основные элементы, характерные для данной группы, и являющаяся ее конструктивно-технологическим представителем. Под основными элементами понимаются поверхности, определяющие конфигурацию детали и технологические задачи, решаемые в процессе их обработки. Основные элементы служат главным признаком для отнесения детали к той или иной классификационной группировке. Составленный на комплексную деталь ТП с небольшими дополнительными подналадками оборудования может применяться при изготовлении любой другой детали данной группы.

*Групповая технологическая операция* – технологическая операция совместного изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Деталеоперацией называется план переходов при обработке конкретной детали из номенклатуры деталей группы, для которых разработана групповая операция. Таким образом, групповая операция охватывает столько деталеопераций, сколько деталей различного наименования скомплектовано в группу.

После разработки схем групповой наладки и уточнения содержания технологических переходов групповой операции проектируют и изготавливают групповую оснастку (приспособления и инструменты).



Групповые технологические процессы и операции разрабатывают для всех типов производства только на уровне предприятия.

Групповой метод – основа унификации технологической оснастки – снижает ее конструктивные разновидности, размеры и составные элементы при одновременном расширении области применения. Групповые перенастраиваемые приспособления проектируют для групп деталей, сходных по способам базирования и фиксации.

**Классификация методов проектирования ТП.** Работы по автоматизации проектирования технологических процессов были начаты в конце 1950-х годов. Отечественными учеными и специалистами разработаны различные методологии, которые использовались при создании автоматизированных систем для проектирования ТП. Методологии совершенствовались с развитием ЭВМ и информационных технологий.

Известны несколько классификаций методов проектирования ТП [16, 17, 25, 37].

Профессор И.П. Норенков классифицирует методы по сложности задач синтеза на пять уровней:

- 1) задачи, в которых структура ТП задается (т. е. синтез отсутствует);
- 2) перебор вариантов структуры, для выполнения которого задают полный перечень вариантов;
- 3) выбор эффективного варианта из большого, но конечного их множества методами исследований операций;
- 4) выбор эффективного варианта из бесконечного множества (для сужения области поиска эффективного решения применяют эвристические правила отбора, режим диалога);
- 5) задачи, которые решаются на уровне открытий и изобретений.

Профессор В. Д. Цветков разделяет методы проектирования ТП на три большие группы:

- 1) алгоритмический анализ типовых и групповых процессов;
- 2) преобразование процессов-аналогов;
- 3) многоуровневый итерационный метод.

К первым двум группам автор относит методы:

- параметрической настройки (изменения параметров в желаемом направлении) ТП;
- исключения и добавления структурных элементов ТП;
- комбинированный способ преобразования ТП.

Третья группа включает методы синтеза на основе как типовых, так и оригинальных проектных решений.

Профессор Н.М. Капустин разработал методологию синтеза структуры ТП из обобщенной структуры, состоящей из типовых индивидуальных маршрутов.

Профессор С.П. Митрофанов методы проектирования ТП разделяет на два класса: адресации и синтеза.

Метод *адресации* имеет три модификации, основанные на заимствовании ТП:

- 1) без изменения структуры ТП-аналога и параметрической настройки;
- 2) без изменения структуры ТП-аналога, но с параметрической настройкой (расчет режимов резания, норм времени, постановки размерных характеристик и т. п.);
- 3) с изменением структуры ТП-аналога и параметрической настройкой.

Метод адресации основан на использовании принципа унификации и может быть применен при внедрении в производство типовых и групповых ТП. При реализации этого метода не применяют процедуры синтеза новых структур, а повторно используют готовый ТП. В этом случае процесс обработки конкретной детали назначают исходя из конструктивно-размерного подобия детали прототипу (типовые ТП) или их технологического подобия (групповые ТП).

*Метод синтеза* подразделяется на модификации:

- метод синтеза с использованием ТП-аналогов;
- метод синтеза с использованием элементов ТП-аналогов;
- метод синтеза без аналогов.

*Метод синтеза с использованием ТП-аналогов* отличается от метода адресации тем, что выбираемые аналоги не содержат всего состава элементов ТП (операций, переходов), которые следует выполнить при изготовлении изделия, поэтому структуры ТП-аналога и ТП изготовления изделия различаются. При проектировании ТП для конкретного изделия возникает необходимость синтезировать его структуру. В этом случае необходима база данных единичных и унифицированных ТП, которые при проектировании могут быть использованы в качестве аналога.

*Метод синтеза с элементами-аналогами* основан на том, что элементы, из которых синтезируется ТП для конкретного изделия, разрабатываются на этапе унификации и хранятся в базе данных «Унифицированные элементы ТП».

*Метод синтеза без аналогов* используется при отсутствии аналога ТП и приводит к необходимости проектировать последовательность ТП, технологический маршрут, технологическую операцию, опираясь на общие закономерности проектирования технологии.

В учебном пособии [37] современные методы автоматизированного проектирования ТП классифицируют следующим образом:

- 1) *индивидуальное проектирование*, заключающееся в ручной компоновке последовательности операций и переходов выбираемых из имеющейся в САПР ТП базы данных. Проектирование предполагает возможность использования ТП-аналогов;

2) *проектирование на основе группового ТП*, основанное на применении групповых ТП. Групповой ТП используется в качестве «шаблона», который настраивается по параметрам конкретной детали;

3) *проектирование методом синтеза*, которое состоит в алгоритмическом формировании ТП на основе геометрического описания детали.

Метод синтеза хотя бы один раз требует формирования внешних связей между элементами для создания из них элементов более высокого уровня. Метод предполагает определение состава элементов, построение новых связей, проверку их достоверности и параметрическую настройку с использованием логических правил и аналитических зависимостей. Проектирование можно вести как с использованием аналогов, так и без них. При использовании аналогов необходимо включать в ТП-аналог новые элементы или существенно изменять их последовательность.

Сложность автоматизации проектирования (синтеза) структуры ТП объясняется большой совокупностью правил проектирования, слабой их формализацией, динамичностью схем их применения, определяемых конкретными производственными условиями. Современные системы проектирования технологии характеризуются применением эвристических алгоритмов формирования структур, строго ориентированных на ограниченное число производственных ситуаций, поэтому системы плохо тиражируемы и неадаптивны. Решения, формируемые системой, часто требуют глубокой корректировки. При проектировании структуры ТП требуется ввести большой объем необходимых исходных данных об изделии и производственной среде. Для корректировки решений, облегчения процесса кодирования и ввода исходных данных применяют диалог пользователя с системой. Однако даже диалог не позволяет повысить эффективность проектирования структуры ТП, если алгоритмы не были рассчитаны на конкретную производственную ситуацию. Оперативно изменить или дополнить алгоритмическое и программное обеспечение не представляется возможным.

Процесс варьирования параметров (параметрической настройки) значительно более формализован и менее зависим от производственной ситуации, поэтому в последнее время появилось много систем, в которых автоматически (или автоматизированно) выполняется параметрическая настройка, а структура ТП формируется вручную и информация о ней вводится в систему как исходные данные. Такие системы легко адаптируются к производственным условиям, требуют введения относительно небольшого объема данных и легко воспринимаются специалистами при их внедрении. Однако эффективность решений в таких системах определяется квалификацией технолога, отсутствует возможность оптимизировать структуру объекта проектирования.

Проблема автоматизированного синтеза единичных ТП остается важнейшей и наиболее актуальной проблемой автоматизации проектиро-

вания. В наиболее часто встречающихся оценках автоматизированного синтеза ТП указывается, что при его реализации маршрутная и операционная технологии должны создаваться на основе общих закономерностей проектирования или эвристик, справедливых для ограниченного класса деталей и определенных видов производства. Утверждается, что сформировать закономерности проектирования и критерии ТП, с помощью которых можно было бы разрабатывать весь процесс изготовления деталей, на сегодняшний день не представляется возможным.

Теория синтеза структур технологических объектов, несмотря на усилия исследователей, разработана недостаточно.

Концепции САПР синтеза единичных ТП на основе конструктивно-технологических параметров изделия и проектирования технологии с применением системы оценок технологического подобия представлены в [17].

Все современные САПР ТП предусматривают проектирование в диалоговом режиме. Изготовление конкретного изделия осуществляют по единичному ТП. Поэтому спроектированный с помощью автоматизированной системы ТП чаще всего должен быть единичным. Роль технолога-проектировщика остается решающей, так он формирует маршрутную технологию, основываясь на собственных знаниях, опыте, интуиции.

При проектировании ТП технолог разрабатывает план обработки (схему сборки), затем формирует структуру ТП выбором данных из соответствующих БД с помощью меню и полей диалоговых окон. Аналогично осуществляется выбор СТО, задаются величины геометрических параметров изделий и инструмента, режимов обработки. ЭВМ в автоматическом режиме выполняет расчет параметров (режимов резания, расхода материала, норм времени и т. д.).

В некоторых системах автоматически осуществляется выбор по определенному алгоритму элементов ТП, СТО и др.

Кроме индивидуального, в современных САПР ТП применяются методы проектирования на основе типовых, групповых ТП, параметризованных ТП, «общих» для группы деталей.

## **4.2. Математическое моделирование технологических процессов**

Математическое моделирование широко используется при исследовании ТП и разработке систем автоматизированного проектирования.

В настоящее время разработаны различные методы и модели, применяемые при моделировании технологических процессов, например, структурные или структурно-логические модели, подразделяющиеся на табличные, сетевые и перестановочные, которые определяются строками булевой матрицы:

$$[S_i \times F(S)] = \begin{bmatrix} F_G & F_n & F_\lambda & F_a & S_i \\ 1 & 1 & 1 & 1 & S_1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & S_2 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & S_3 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & S_4 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & S_5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & S_6 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & S_7 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & S_8 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & S_9 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & S_{10} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & S_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{12} \end{bmatrix}, \quad (4.1)$$

где  $S_i$  – свойства моделей, влияющие на содержание проектирования;  $F(S)$  – набор свойств;  $F_G$  – набор свойств (если все графы объектов  $A_\kappa$  проектируемых по данной модели, простые пути или цепи,  $F_G = 1$ , в противном случае  $F_G = 0$ );  $F_n$  – набор свойств, учитывающих число элементов во всех вариантах объектов  $A_\kappa$  ( $F_n = 1$  – число элементов  $a_i$  одинаково, в противном случае  $F_n = 0$ );  $F_\lambda$  – набор свойств, учитывающих отношения между любыми элементами объекта  $a_i$  во всех вариантах объектов  $A_\kappa$  ( $F_\lambda = 1$  – отношение не меняется, в противном случае  $F_\lambda = 0$ );  $F_a$  – набор свойств, учитывающих состав элементов  $a_i$  в объектах  $A_\kappa$  ( $F_a = 1$  – состав одинаков, в противном случае  $F_a = 0$ ).

В матрице (4.1) модели класса  $S_1$  называют **табличными**. В табличной модели каждому набору свойств  $F(A_\kappa)$  соответствует *единственный* вариант проектируемого объекта  $A_\kappa$ , поэтому табличные модели используют для поиска стандартных, типовых или готовых проектных решений.

Модели остальных классов ( $S_2, \dots, S_{12}$ ) применяют для получения типовых, унифицированных и индивидуальных проектных решений при наличии их вариантов и необходимости оптимизации решения.

Модели классов  $S_2, S_5, S_7, S_8$  и  $S_{11}$  называют **сетевыми**. Структура элементов сетевой модели описывается ориентированным графом, не

имеющим ориентированных циклов. В этой модели может содержаться несколько вариантов проектируемого объекта  $A_K$ , однако во всех вариантах сохраняется неизменным соотношение порядка между входящими элементами.

Модели классов  $S_3, S_4, S_6, S_9, S_{10}$  и  $S_{12}$  называют *перестановочными*. Соотношение порядка между элементами проектируемого объекта  $A_K$  в перестановочных моделях обычно задается с помощью графа, содержащего ориентированные циклы, причем все варианты объектов  $A_K$ , проектируемые по перестановочным моделям, различаются порядком между элементами, входящими в них.

Объектом проектирования  $A_K$  может быть технологический процесс, операция или переход.

Если рассматривать технологический процесс в качестве объекта проектирования, то операции будут элементами. При проектировании операции элементами будут технологические переходы.

Если  $A_K$  должен содержать *фиксированный набор элементов*  $a_i \in A_K$ , то

$$A_K = a_1 \wedge a_2 \wedge \dots \wedge a_i \wedge \dots \wedge a_n = \bigwedge_{i=1}^n a_i.$$

Если  $A_K$  может содержать *любой элемент*  $a_i \in A_K$ , то

$$A_K = a_1 \vee a_2 \vee \dots \vee a_i \vee \dots \vee a_n = \bigvee_{i=1}^n a_i.$$

Если  $A_K$  содержит какой-либо *единственный элемент*  $a_i \in A_K$ , то

$$A_K = a_1 \nabla a_2 \nabla \dots \nabla a_i \nabla \dots \nabla a_n = \bignabla_{i=1}^n a_i.$$

Проектирование технологического процесса проводится на разных уровнях. Самым высоким уровнем является разработка принципиальной схемы технологического процесса, который складывается из отдельных этапов, а каждый этап может содержать одну или более операций. В данном случае оператором является этап технологического процесса.

Моделирование технологических процессов разного уровня осуществляется с помощью моделей  $S_i(F)$ , при этом операторами модели  $S_i(F)$  более высокого уровня (этапам технологического процесса) соответствуют операции и переходы, входящие соответственно в маршрут и операцию, проектируемые моделями  $S_i(F)$  более низкого уровня.

При моделировании также применяются математические модели, основанные на использовании целочисленного программирования, систем массового обслуживания, сетей Петри и др. [1, 16]. Примеры применения структурных моделей при моделировании процессов изготовления деталей и сборки изделий представлены в [1, 16, 28].

Структурно-параметрические модели и методики проектирования, рассмотрены в учебном пособии [26]. Методики моделирования, проектирования и оптимизации технологических процессов сборки летательных аппаратов приведены в [5, 28].

В работе [32] рассмотрена одна из методологий моделирования интегрированной информационно-программной среды (ИИПС) конструкторско-технологического проектирования.

В структуре ИИПС выделены среда формирования конструкторских  $S(A^K)$  и технологических  $S(A^T)$  моделей изделий, среда проектирования ТП  $S(T^A)$  и среда формирования моделей СТО  $S(P^T)$ .

В свою очередь, в каждой среде выделен ряд уровней. Модели первого уровня включают параметрические модели. Модели второго уровня - порождающие модели. Модели третьего уровня включают процедуры и алгоритмы формирования моделей. Модели четвертого уровня включают результирующие модели изделия, технологического процесса и СТО.

Рассмотрим моделирование процесса сборки элементов планера летательного аппарата.

С учетом специфики задач проектирования технологического процесса сборки его модель должна соответствовать следующим требованиям:

- дискретности, т. е. описывать нелинейное изменение структуры, параметров и геометрии изделия в результате выполнения технологических операторов;
- динамичности, т. е. описывать взаимодействия объектов технологии в пространстве и во времени;
- структурированности, отражающей иерархическое разбиение процесса на операции, переходы, проходы, рабочие движения;
- интерпретируемости и детерминированности, т. е. возможности однозначной интерпретации с детализацией, соответствующей определенному уровню, если свойства и параметры модели на заданном уровне полностью определены.

Модель технологического процесса  $S(T^A)$  представляется в виде трех составляющих моделей:

$$S(T^A) = \{S^\Phi(T^A), S^N(T^A), S^S(T^A)\},$$

где  $S^\Phi(T^A)$ ,  $S^N(T^A)$ ,  $S^S(T^A)$  – соответственно функциональная, параметрическая и структурная модели.

Функциональная модель технологического процесса описывает преобразование технологической модели изделия в ходе технологического процесса. С учетом структуры технологической модели сборочной единицы функциональная модель технологического процесса описывается следующим образом:

$$S^{\Phi}(T^A) = \{S^{\Phi S}(T^A), S^{\Phi N}(T^A), S^{\Phi \Gamma}(T^A)\},$$

где отображения

$$S^{\Phi S}(T^A) = \Phi^T : S^S(A^T)_0 \rightarrow S^S(A^T)_K;$$

$$S^{\Phi N}(T^A) = \Phi^T : S^N(A^T)_0 \rightarrow S^N(A^T)_K;$$

$$S^{\Phi \Gamma}(T^A) = \Phi^T : S^{\Gamma}(A^T)_0 \rightarrow S^{\Gamma}(A^T)_K$$

описывают соответственно преобразования структурной  $S^S(T^T)$ , параметрической  $S^N(T^T)$  и геометрической  $S^{\Gamma}(T^T)$  моделей изделия из начального в конечное состояние.

Параметрическая модель технологического процесса включает идентификационную часть (наименование, обозначение, применяемость, статус), технические требования к выполнению, технико-экономические параметры (трудоемкость, цикл, расходуемые ресурсы).

Структурная модель технологического процесса отражает его декомпозицию на элементы (операции, переходы, рабочие движения) и описывается иерархическим графом-деревом. На каждом иерархическом уровне модель технологического процесса представляется в виде множества моделей технологических операторов:

$$S^P(T^A)^J = (S(\tau_1^J), S(\tau_2^J), \dots, S(\tau_i^J), \dots, S(\tau_K^J)),$$

где  $S(\tau_i^J)$  – модель  $i$ -го технологического оператора уровня  $J$ .

Модель технологического оператора любого уровня может быть представлена в виде системы взаимосвязанных моделей, описывающих различные группы его свойств:

$$S(\tau_i^J) = \{S^{\Phi}(\tau_i^J), S^N(\tau_i^J), S^S(\tau_i^J)\},$$

где  $S^{\Phi}(\tau_i^J)$ ,  $S^N(\tau_i^J)$ ,  $S^S(\tau_i^J)$  – функциональная, параметрическая и структурная модели оператора  $\tau_i^J$ .

Функциональная модель содержит описание вида, объекта и результата воздействия технологического оператора на объект (изделие или элемент производственной системы).

Параметрическая модель включает описание идентификационной части, качественных параметров, характеризующих методы и приемы выполнения работы, количественных параметров (технологические режимы



и технико-экономические показатели) и лингвистических параметров, описывающих слова и словосочетания, используемые в виде вставок при формировании структурированных текстовых фраз, отражающих содержание технологических операций и переходов.

Структурная модель описывает взаимосвязи оператора  $S^S(\tau_i^J)$  с операторами верхних и нижних иерархических уровней.

Если принять четырехуровневую структуру технологического процесса, то в соответствии с методологией системно-структурного анализа его полная модель может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} S(T^A)^1 &= \Phi_T^1 : S(A^T)_0 \rightarrow S(A^T)_K, S^N(T^A), \{\tau^2\}; \\ S(T^A)^2 &= \{\phi^2 \tau_i^2 : S(0)_{i-1} \rightarrow S(0)_i, S^N(\tau_i^2), i = 1 \dots n\}, R^{\tau^2}, \{\tau^3\}; \\ S(T^A)^3 &= \{\phi^3 \tau_j^3 : S(0)_{j-1} \rightarrow S(0)_j, S^N(\tau_j^3), j = 1 \dots k\}, R^{\tau^3}, \{\tau^4\}; \\ S(T^A)^4 &= \{\phi^4 \tau_l^4 : S(0)_{l-1} \rightarrow S(0)_l, S^N(\tau_l^4), l = 1 \dots q\}, R^{\tau^4} \end{aligned}$$

На первом уровне описываются функция преобразования  $\Phi_T^1$  и параметры процесса  $S^N(T^A)$  как целого, а также состав структурных элементов (операций) второго уровня  $\{\tau^2\}$ . На втором уровне для каждой операции  $\tau_i^2$  в свою очередь, описываются реализуемое функциональное преобразование  $\phi^2 \tau^2$  и параметрическая модель этого преобразования  $S^N(\tau_i^2)$ , а кроме того, задаются связи между технологическими операторами этого уровня  $R^{\tau^2}$  и состав технологических операторов третьего уровня  $\{\tau^3\}$ . Связи  $R^{\tau^2}$  отражают отношения предшествования-следования между операторами и характер их совмещения во времени: последовательное, параллельное, последовательно-параллельное. На третьем уровне аналогично описываются переходы технологической операции, на четвертом – структурные элементы переходов (приемы, рабочие движения), которые далее не детализируются.

Операторы четвертого уровня привязаны к операторам третьего уровня, не отображаются в дереве технологического процесса и используются для анимации работы исполнителя с помощью антропометрического манекена.

Порождающая модель технологического процесса  $S^{\Pi}(T_l^A)$  является моделью проектирования и содержит комплекс взаимосвязанных проектных процедур и операций, направленных на получение проектного решения в виде модели технологического процесса сборки на основании исходного описания изделия и производственно-технологической среды.

Модель включает операции и процедуры, связанные с поиском и подготовкой необходимой исходной информации, формированием структуры технологического процесса, выполнением расчетов и оптимизацией технологического процесса.

$S^{\Pi}(T_i^A)$  является алгоритмической моделью, описывающей последовательность проектных процедур и операций по преобразованию исходных данных в модель технологического процесса. Она должна обладать свойствами дискретности (представление алгоритма в виде последовательности шагов), определенности (за конечное число шагов должен быть получен результат либо доказано его отсутствие), однозначности (при повторном применении алгоритма к тем же исходным данным должен быть получен тот же результат), возможности многократного применения к типовым объектам (с учетом ограничений).

Проектирование технологического процесса реализуется в автоматизированном режиме, т. е. часть процедур проектирования выполняется пользователем, часть – автоматизированной системой проектирования. Объем и степень сложности проектных процедур, выполняемых системой, определяют степень автоматизации проектирования и уровень интеллектуальной информационной поддержки процесса проектирования. Структурными элементами  $S^{\Pi}(T_i^A)$  являются модели проектирования технологических операций и переходов по отдельным видам работ.

Основой информационной среды системы технологического проектирования являются базовые и комплексные технологические модули – представленные в программном виде алгоритмы проектирования технологических операций и переходов.

Базовый технологический модуль (БТМ) является первичным структурным элементом информационной среды технологического проектирования и представляет модель проектирования однопереходной типовой технологической операции. БТМ содержит идентификационную часть (дескриптор, наименование вида работ, идентификаторы алгоритмов геометрических преобразований объектов, нормирования и расчета технологических параметров), постоянную информацию (текстовые формулировки типовой технологической операции, список ссылок на НТД), переменную информацию об изделии, условиях выбора способов выполнения работ и СТО, характеристики для определения норм времени и расчета технологических режимов.

При классификации видов работ БТМ объединяются в группы по общности конструктивно-технологических свойств изделий и их элементов, а также способам выполнения работ.

Комплексный технологический модуль (КТМ) – модель проектирования многопереходной типовой технологической операции, группы

операций либо типового технологического процесса, представленная в виде совокупности БТМ, при обработке которой формируется модель технологического решения (операция, группа операций, технологический процесс).

КТМ содержит идентификационную часть (дескриптор, наименование вида работ, идентификаторы входящих БТМ, алгоритмов нормирования и расчета технологических параметров), постоянную информацию (текстовые формулировки операций и переходов), условия включения входящих БТМ в результирующую модель технологического процесса.

Процедурно-алгоритмическая среда предоставляет возможность пользователю осуществлять синтез модели  $S^T(T_i^A)$  путем привязки БТМ – КТМ к соответствующим элементам изделия и технологической оснастки.

Сформированная цепочка моделей является структурно-параметрической моделью проектирования технологического процесса.

Обработка (расчет) этой модели средствами процедурно-алгоритмической среды при фиксированных значениях параметров изделия позволяет сформировать вариант (результирующую модель) технологического процесса. При этом могут рассчитываться различные варианты структуры технологического процесса.

Данная методика моделирования технологического процесса сборки реализована при разработке системы автоматизированного проектирования процессов агрегатно-сборочного производства ТеМП АСП.

### **4.3. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов**

#### **4.3.1. Состав и структура САПР ТП**

В составе любой САПР ТП, англоязычный термин – CAPP (Computer Aided Process Planning)-системы, выделяют комплекс технических средств и программно-методический комплекс. Для САПР ТП сборки используется термин CAAP (Computer Aided Assembly Planning).

Комплекс технических средств предназначен для обеспечения ввода-вывода информации в систему, хранения и выдачи информации в удобной для проектировщика форме, а также управления процессами обработки информации при проектировании. К техническим средствам САПР ТП относят вычислительную технику, периферийные устройства (в основном используемые для ввода-вывода информации), сетевое оборудование, специализированные автоматизированные рабочие места (АРМ).

Программно-методический комплекс САПР ТП включает в себя следующее обеспечение:

- *информационное* – информация, используемая САПР ТП для разработки проектных решений (данные о прототипах проектируемых объектов, типовых проектных решениях, нормативные данные), основная часть, которой содержится в машинных базах данных и незначительная – в обычных документах;
- *математическое* – совокупность математических методов, моделей и алгоритмов, необходимых для выполнения проектных процедур;
- *лингвистическое* – сведения о специальных языках проблемно-ориентированного проектирования, использующихся в САПР ТП;
- *программное* – комплекс всех программ и эксплуатационной документации к ним в виде обычных текстовых документов или записанных на машинных носителях;
- *методическое* – комплекс документов, содержащих общее описание САПР ТП; данные об используемых средствах автоматизации, правила их технического обслуживания и использования;
- *организационное* – комплект документов (положений, штатных расписаний, инструкций и др.), устанавливающих правила практического выполнения автоматизированного проектирования, в том числе: взаимодействие всех проектирующих и обслуживающих подразделений; ответственность специалистов различного профиля и уровня за определенные виды работы; правила выпуска, использования и корректировки выходных документов САПР ТП; правила доступа к базам данных; приоритеты пользования средствами САПР ТП.

Функциональными составляющими САПР ТП являются проектирующие и обслуживающие подсистемы. Подсистема – совокупность взаимосвязанных элементов, способных выполнять относительно независимые функции, реализовать подцели, направленные на достижение общей цели системы.

К проектирующим относят подсистемы, выполняющие процедуры и операции проектирования отдельных частей объекта или осуществляющие выполнение определенного этапа проектирования (например, разработки маршрутов основных поверхностей, выбора технологических баз и т. д.).

Проектирующие подсистемы чаще всего являются объектно-ориентированными, т.е. содержание и порядок выполнения реализованных в них проектных процедур характерны и применимы только для данного вида проектируемых объектов. Если номенклатура однотипных проектируемых объектов широка, например, если объект – ТП изготовления деталей типа тел вращения, проектирующие подсистемы (или даже САПР ТП в целом) относят к инвариантным или объектно-независимым.

Обслуживающие подсистемы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем (например, подсистем графического отображения состояния предмета производства, информационно-поисковых, подсистем фор-

мирования текстовых документов и т. д.). Обслуживающие подсистемы могут быть инвариантными ко многим видам объектов проектирования, так как предназначены для выполнения унифицированных проектных процедур и операций, например, хранения и поиска информации, обработки графической информации, формирования проектной документации. Вместе с тем такие подсистемы создают для использования в вычислительных комплексах САПР ТП конкретного состава и с определенными операционными системами.

Подсистемы САПР ТП обладают всеми свойствами систем и могут функционировать самостоятельно. Они также делятся на составляющие, которые принято называть компонентами.

Лицо, участвующее в эксплуатации САПР ТП или использующее результаты ее эксплуатации, называют пользователем системы. Пользователь обычно работает с системой на АРМ, основным техническим средством которого является персональный компьютер различной конфигурации. Рабочее место может быть автономным или входить в локальную сеть.

Работа в автоматизированных системах проектирования, технологических системах связана с использованием большого объема различных данных, которые должны храниться в ЭВМ, и пользователь должен иметь возможность доступа к ним. Хранение технологической информации обеспечивается применением системы баз данных. База данных обеспечивает хранение информации и представляет собой поименованную совокупность данных, организованных по определенным правилам, включающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными.

### **Модели данных**

Хранимые в базе данные имеют определенную логическую структуру, т. е. представлены некоторой моделью. Используются следующие модели данных: иерархическая, сетевая, реляционная, объектно-ориентированная [36].

*Иерархическая модель данных* имеет многоуровневую иерархическую (древовидную) структуру, т. е. каждый из элементов связан только с одним стоящим выше элементом, но в то же время на него могут ссылаться один или несколько стоящих ниже элементов. Она удобна для работы с иерархически упорядоченной информацией, но громоздка для информации со сложными логическими связями.

Пример иерархической модели представлен на рис. 4.3.

К основным понятиям иерархической структуры относятся: уровень, элемент (узел), связь.

*Узел* – это совокупность атрибутов данных, описывающих некоторый объект.

На схеме иерархического дерева узлы представляются вершинами графа.

Каждый узел на более низком уровне связан только с одним узлом, находящимся на более высоком уровне. Иерархическое дерево имеет только одну вершину, не подчиненную никакой другой вершине и находящуюся на самом верхнем (первом) уровне. Зависимые (подчиненные) узлы находятся на втором, третьем и т. д. уровнях.

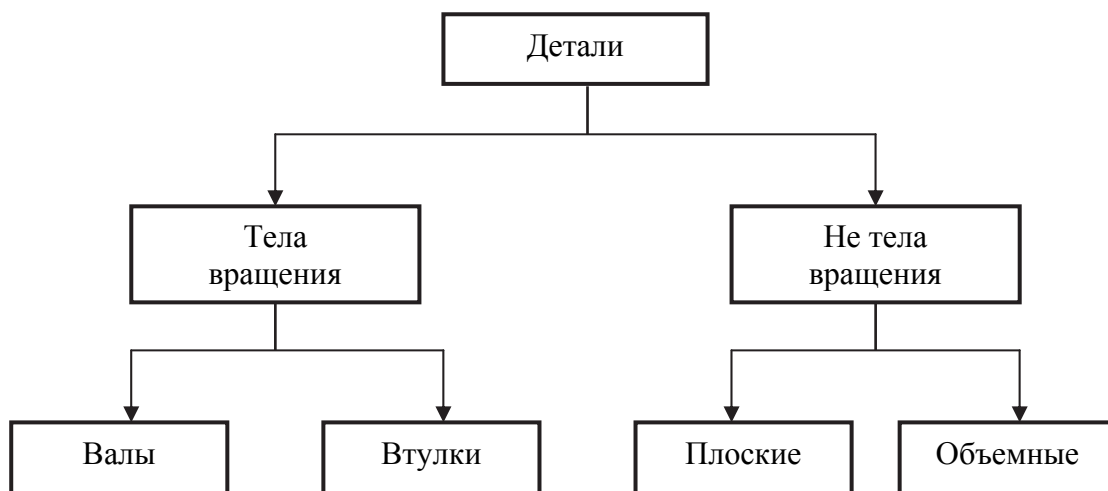


Рис. 4.3. Иерархическая модель данных

Сетевая модель представляет данные в виде произвольного графа. В сетевой структуре также используются понятия уровень, узел и связь, но каждый элемент может быть связан с любым другим элементом. Графическое изображение структуры связей элементов модели представляет собой сеть (рис. 4.4).

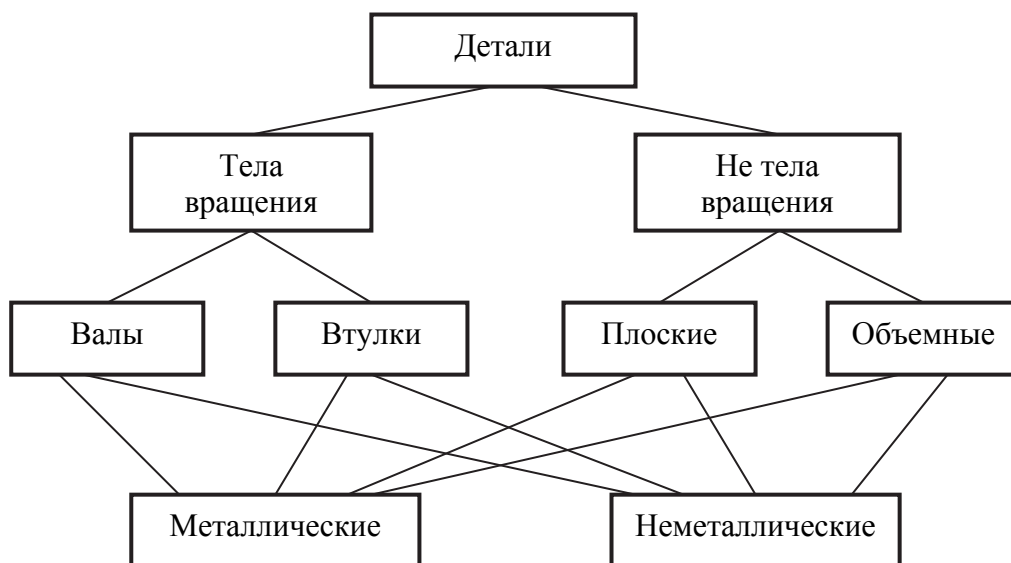


Рис. 4.4. Сетевая модель данных

Достоинством иерархической и сетевой моделей данных является возможность их эффективной реализации по показателям затрат памяти и оперативности. Недостатком сетевой модели данных является высокая сложность и жесткость схемы БД, построенной на ее основе.

Большинство современных БД для персональных компьютеров являются реляционными.

*Реляционная модель* данных название получила от английского термина «relation» – «отношение».

В простейшем случае реляционная модель описывает единственную двумерную таблицу (табл. 4.1), но чаще всего эта модель описывает структуру и взаимоотношения между несколькими различными таблицами. На рис. 4.5 показаны две связанные таблицы.

Таблица 4.1

Детали

Код	Расположение поверхностей	Дополнительная характеристика
1	Тела вращения	Валы
2	Тела вращения	Втулки
3	Не тела вращения	Плоские
4	Не тела вращения	Объемные

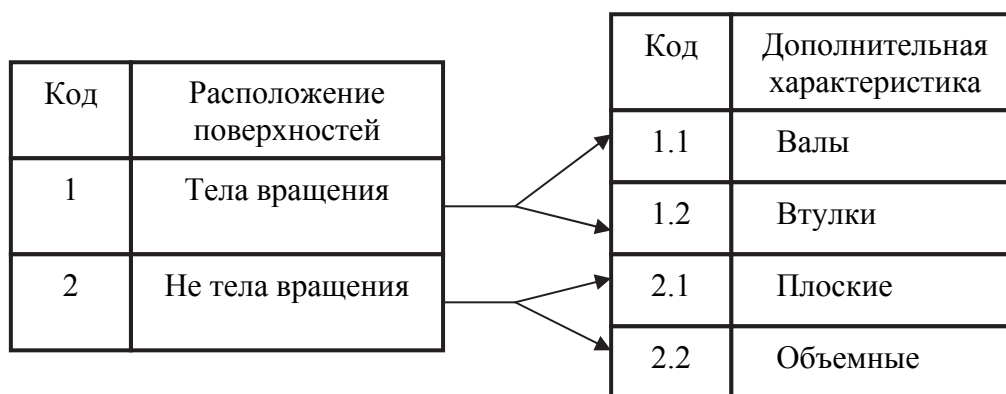


Рис. 4.5. Две связанные таблицы реляционной модели данных

Реляционная БД представляет собой информацию (данные) об объектах, представленную в виде двумерных массивов – таблиц, объединенных определенными связями. База данных может состоять и из одной таблицы.

Таблица состоит из следующих элементов: поле, ячейка, запись (рис. 4.6).

*Поле* содержит значения одного из признаков, характеризующих объекты БД. Число полей в таблице соответствует числу признаков.

*Ячейка* содержит конкретное значение соответствующего поля (признака одного объекта).

*Запись* – строка таблицы. Она содержит значения всех признаков, характеризующих один объект. Число записей соответствует числу объектов, данные о которых содержатся в таблице.

В теории баз данных термину *запись* соответствует понятие *кортеж* – последовательность атрибутов, связанных между собой отношением AND(И). В теории графов *кортеж* означает простую ветвь ориентированного графа – дерева.

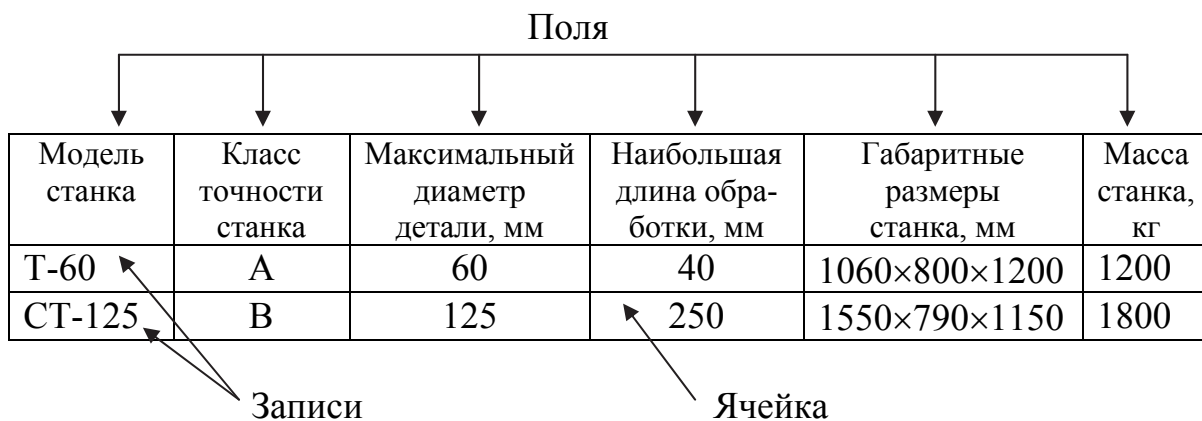


Рис. 4.6. Структура таблицы базы данных

Одним из важных понятий, необходимых для построения оптимальной структуры реляционных баз данных, является понятие ключа, или ключевого поля.

Ключом считается поле, значения которого однозначно определяют значения всех остальных полей в таблице.

Ключом может быть не одно, а несколько полей. В этом случае множество полей может быть возможным ключом таблицы только тогда, когда удовлетворяются два независимых от времени условия: уникальность и минимальность. Каждое поле, не входящее в состав первичного ключа, называется неключевым полем таблицы.

Уникальность ключа означает, что в любой момент времени таблица базы данных не может содержать никакие две различные записи, имеющие одинаковые значения ключевых полей. Выполнение условия уникальности является обязательным.

Условие минимальности ключевых полей означает, что только сочетание значений выбранных полей отвечает требованиям уникальности записей таблицы базы данных. Это означает также, что ни одно из входящих в ключ полей не может быть исключено из него без нарушения уникальности.

Достоинствами реляционной модели данных является ее простота, удобство реализации, возможность формирования гибкой схемы БД.



Реляционная модель данных используется в основном в БД среднего размера. При увеличении числа таблиц в БД заметно падает скорость работы с ней. Определенные проблемы использования реляционной модели данных возникают при создании систем со сложными структурами данных.

Объектно-ориентированные БД объединяют в себе две модели данных, реляционную и сетевую, и используются для создания крупных БД со сложными структурами данных.

### **Системы управления базами данных**

Система управления базами данных (СУБД) представляет собой пакет прикладных программ и совокупность языковых средств, предназначенных для создания, сопровождения и использования баз данных.

СУБД по используемой *модели данных* разделяют на следующие типы: иерархические, сетевые, реляционные и объектно-ориентированные.

По характеру использования СУБД делятся на персональные и многопользовательские.

Персональная СУБД представляет собой совокупность языковых и программных средств, предназначенных для создания, ведения и использования БД. СУБД обеспечивают возможность создания персональных БД и недорогих приложений, работающих с ними, и, при необходимости, создания приложений, работающих с сервером базы данных. К персональным СУБД относятся Visual FoxPro, dBase, Access и др.

Многопользовательские СУБД состоят из сервера БД и клиентской части, работают в неоднородной вычислительной среде (разные типы ЭВМ и операционные системы). Поэтому на базе многопользовательских СУБД можно создавать информационную систему, функционирующую по технологии клиент-сервер. К многопользовательским относятся СУБД Oracle, Informix и др.

Управляющим компонентом многих СУБД является ядро, выполняющее следующие функции:

- управление данными во внешней памяти;
- управление буферами оперативной памяти (рабочими областями, в которые осуществляется подкачка данных из базы для повышения скорости работы);
- управление транзакциями.

*Транзакция* – это последовательность операций над БД, рассматриваемая СУБД как единое целое. При выполнении транзакция может быть либо успешно завершена, и СУБД зафиксирует произведенные изменения во внешней памяти, либо, например, при сбое в аппаратной части персонального компьютера, ни одно из изменений не отразится в БД. Понятие транзакции необходимо для поддержания логической целостности БД.

Язык современной СУБД включает подмножества команд, относившиеся ранее к следующим специализированным языкам:

- язык описания данных – высокоуровневый непроцедурный язык декларативного типа, предназначенный для описания логической структуры данных;
- язык манипулирования данными – командный язык СУБД, обеспечивающий выполнение основных операций при работе с данными (ввод, модификацию и выборку данных по запросам);
- структурированный язык запросов (SQL – Structured Query Language) – обеспечивает манипулирование данными и определение схемы реляционной БД, является стандартным средством доступа к серверу БД.

При создании баз данных многопользовательских СУБД используются две архитектуры организации: файл – сервер и клиент – сервер.

Общими признаками организации этих типов СУБД является наличие сервера (компьютера), на котором находятся базы (файлы) данных, и рабочих станций (компьютеров клиентов) – клиентов.

В архитектуре файл – сервер по запросу клиента к нему пересылается файл с БД, а затем на компьютере клиента производятся все процессы обработки информации. В архитектуре клиент – сервер все процессы обработки информации по запросу клиента выполняются на сервере, а клиенту отсылаются только результаты обработки данных. Преимущества организации БД по архитектуре клиент – сервер заключаются в том, что увеличивается возможность подключения большого числа пользователей, т. е. производительность работы системы выше. Кроме того, централизованное хранение и обработка данных на сервере повышают надежность работы системы.

Реляционные СУБД должны содержать следующие компоненты:

- таблицы;
- запросы;
- формы;
- отчеты;
- управляющие программы.

*Таблицы* базы данных могут иметь различное назначение, например, таблицы постоянной информации, переменной информации.

*Таблицы постоянной информации* (условно постоянной) должны содержать данные, не меняющиеся в течение длительного времени (например, названия технологических операций, средств технологического оснащения и др.).

*Таблицы переменной информации* – это таблицы, в которых информация об объектах постоянно дополняется или изменяется пользователем.

*Запросы* базы данных представляют собой некоторый набор команд, предназначенных для поиска и обработки информации в таблицах по за-

данным пользователем условиям (значениям полей). Современные СУБД позволяют формировать запросы:

- на выборку – предназначены для поиска (выбора) информации в конкретной таблице (таблицах) базы данных;
- обновление – предназначены для автоматического обновления данных в отдельных ячейках таблицы;
- добавление – предназначены для автоматического добавления записей в таблицы;
- удаление – предназначены для автоматического удаления записей из таблиц;
- создание таблиц – предназначены для создания новых таблиц на основе уже имеющихся в БД.

*Формы* при разработке информационных систем предназначены для организации интерфейса между пользователем и компьютером. По назначению формы можно разделить на следующие группы:

- формы для ввода данных в таблицы;
- формы для ввода условий выполнения запросов;
- формы для автоматического управления работой системы (кнопочные формы, формы – меню и др.).

*Отчеты* – это виды документов для вывода результатов обработки информации.

*Управляющие программы* предназначены для автоматизации работы с компонентами базы данных. Они пишутся с помощью макрокоманд (макросов) или на языке программирования, например VBA.

### **Экспертные системы**

В современных САПР ТП и интегрированных САПР все чаще используются экспертные системы.

Экспертная система представляет собой реализованный на базе вычислительной техники программный комплекс – интеллектуальный автомат, обладающий способностью воспринимать, представлять, обрабатывать и объяснять профессиональные знания на основе формального логического вывода. Решения, формируемые с помощью этих систем, могут соответствовать уровню, достижение которого человеком требует продолжительного обучения и значительного опыта. Экспертные системы в составе САПР ТП используют для решения следующих задач:

- выбора вида и способа изготовления исходной заготовки;
- классификации деталей;
- проектирования ТП, изготовления деталей;
- расчета режимов обработки и др.

Экспертная система может состоять из следующих компонентов:

- базы знаний;
- базы данных;
- механизма (машины) логического вывода;
- лингвистического процессора;
- блока объяснения полученных решений;
- редактора базы знаний.

*База знаний* экспертной системы содержит описания объектов, характеризующих предметную область системы: описания вопросов, задаваемых пользователю системой в ходе консультации (система может формулировать вопросы и самостоятельно), правила формирования логических выводов. База знаний формируется инженером по знаниям и экспертом.

*Инженер по знаниям* – специалист в области искусственного интеллекта, выступающий в роли посредника между экспертом и базой знаний.

*Эксперт* – специалист в предметной области, способный принимать экспертные решения и формулирующий знания для ввода их в базу знаний. При создании базы знаний может привлекаться несколько экспертов.

*База данных* содержит количественные характеристики данных из базы знаний.

*Механизм логического вывода* составляет наиболее важную часть экспертной системы, реализующую на основе логико-математического аппарата анализ поступающей в экспертную систему и имеющейся в ней информации, формирование (вывод) на ее основе новых заключений (суждений) в ответ на запрос к системе.

*Лингвистический процессор* предназначен для обеспечения комфортного интерфейса между пользователем и экспертной системой.

*Блок объяснения* полученных решений предназначен для объяснения сгенерированных системой выводов. Данный блок позволяет проследить цепочку выполняемых логических рассуждений. Кроме того, с помощью блока объяснений можно организовать процесс обучения конечных пользователей работе с экспертной системой.

*Редактор базы данных* предназначен для обеспечения работы инженера по знаниям по поддержанию модели знаний, адекватной предметной области (генерации базы знаний, ее тестирования, пополнения новыми знаниями и т. п.).

В экспертных системах при представлении знаний используются следующие модели:

- логические модели;
- продукционные модели;
- семантические сети;
- фреймовые модели;
- модели, основанные на нечетких множествах.

*Логические модели представления знаний.* Согласно логическому подходу, вся система знаний, необходимая для решения прикладных задач, рассматривается как совокупность утверждений. Система знаний представляется совокупностью формул логики предикатов.

Эта логика оперирует простыми высказываниями, расчлененными на *субъект* (нечто лежащее в основе) и *предикат* (нечто утверждаемое о субъекте). Предикат отображает наличие или отсутствие у субъекта того или иного признака.

Формулы в базе знаний неделимы. Модификация базы предполагает лишь добавление или удаление формул. Логические методы обеспечивают развитый аппарат выводов новых фактов на основе тех, что представлены в базе знаний.

В основе логических моделей лежит формальная система, задаваемая четверкой вида:

$$M = \langle T, P, A, B \rangle.$$

Множество  $T$  есть множество базовых элементов различной природы, входящих в состав некоторого набора. Важно, что для множества  $T$  существует некоторый способ определения принадлежности или непринадлежности произвольного элемента этому множеству.

Множество  $P$  есть множество синтаксических правил. С их помощью из элементов  $T$  образуют синтаксически правильные совокупности.

В множестве синтаксически правильных совокупностей выделяется подмножество  $A$ . Элементы  $A$  называются аксиомами.

Множество  $B$  есть множество правил вывода. Применяя их к элементам  $A$ , можно получить новые синтаксически правильные совокупности, к которым снова можно применять правила из  $B$ .

Правила вывода являются наиболее сложной составляющей формальной системы. В базе знаний хранятся лишь те знания, которые образуют множество  $A$ , а все остальные знания получаются из них по правилам вывода.

*Продукционные модели представления знаний.* Психологические исследования процессов принятия решений показали, что, рассуждая и принимая решения, человек использует продукционные правила (от англ. *production* – правило выводов). В общем случае продукционное правило можно представить в следующем виде:

$$i : S; L; A \rightarrow B; Q,$$

где  $i$  – индивидуальный номер продукции;  $S$  – описание класса ситуаций, в которой данная структура может использоваться;  $L$  – условие, при котором продукция активизируется;  $A \rightarrow B$  – ядро продукции, например: «Если  $A_1, A_2, \dots, A_n$  то  $B$ ». Такая запись означает, что «если все условия от  $A_1$  до  $A_n$  являются истиной, то  $B$  также истина;  $Q$  – постусловие продукционного

правила, описывает операции и действия (процедуры), которые необходимо выполнить после выполнения *B*.

В левой части правила продукции ставится некоторое условие, а в правой части – действие. Если все условия истинны, то выполняется действие, заданное в правой части продукции.

При использовании продукционной модели база знаний состоит из набора правил. Программа, управляющая перебором правил, называется машиной вывода. Механизм вывода связывает знания воедино, а затем выводит из последовательности знаний заключение.

*Семантическая сеть* – это модель формализации знаний в виде ориентированного графа с размеченными вершинами и дугами. Вершинам соответствуют объекты, понятия или ситуации, а дугам – отношения между ними.

В качестве понятий обычно выступают абстрактные или конкретные объекты, а отношения – это связи типа: «это», «имеет часть», «принадлежит». Характерной особенностью семантических сетей является обязательное наличие трех типов отношений:

- 1) класс-элемент класса;
- 2) свойство-значение;
- 3) пример элемента класса.

Наиболее часто в семантических сетях используются следующие отношения:

- связи типа «часть-целое»;
- функциональные связи (определяемые обычно глаголами «производит», «влияет» и др.);
- количественные (больше, меньше, равно и т. д.);
- пространственные (далеко от, близко от и др.);
- атрибутивные связи (иметь свойство, иметь значение);
- логические связи (И, ИЛИ, НЕ);
- лингвистические связи и др.

*Фреймовые модели представления знаний*. Под фреймом понимается абстрактный образ или ситуация. Например, слово «комната» вызывает образ комнаты – «жилое помещение с четырьмя стенами, полом, потолком, окнами и дверью». Из этого описания ничего нельзя убрать, например, убрав окна, мы получим уже нежилое помещение, а не комнату. Но в нем есть *слоты* – незаполненные значения некоторых атрибутов – количество окон, цвет стен, высота потолка, покрытие пола и др., такой образ и называется фреймом (фреймом минимального описания). Фреймом называется также и формализованная модель этого образа. *Фреймовая модель*, основанная на теории М. Минского, представляет собой систематизированную в виде единой теории технологическую модель памяти человека и его сознания.

В общем случае фрейм определяется следующим образом:

$$f = [(r_1, v_1), \dots, (r_n, v_n)],$$

где  $f$  – имя фрейма;  $v_i$  – значение слота, или

(ИМЯ ФРЕЙМА:

(имя 1-го слота: значение 1-го слота),

(имя 2-го слота: значение 2-го слота),

(имя n-го слота: значение n-го слота)).

Значением слота может быть практически все, что угодно.

Все фреймы взаимосвязаны и образуют единую фреймовую структуру, в которой категорически объединены декларативные и процедурные знания. Это дает возможность достаточно быстро производить композицию и декомпозицию информационных структур аналогично тому, как это делал бы человек при описании структуры своих знаний.

Фреймовые модели являются достаточно универсальными, поскольку позволяют отобразить все многообразие знаний о мире посредством:

- фреймов-структур для обозначений объектов и понятий;
- фреймов-ролей;
- фреймов-сценариев;
- фреймов-ситуаций.

### **Кодирование информации в автоматизированных системах**

В автоматизированных системах технологического проектирования одной из важных процедур является процесс кодирования объектов, с участием которых выполняются определенные действия.

*Кодирование* – основной способ формализации описания технико-экономической информации, что необходимо для ее автоматизированной обработки. Процесс кодирования выполняется на основе классификационных признаков, которые представляют важные качественные или количественные характеристики объекта, и состоит в определении упорядоченных перечней объектов классификации, признаков классификации, группировок и их кодовых обозначений.

*Цель кодирования* – представление информации в компактном виде, удобном для ввода, вывода, обработки с помощью ЭВМ, передачи по каналам связи, а также для эффективного поиска данных по ключевым признакам.

*Код* – условное обозначение объектов или группировок с помощью знака или группы знаков в соответствии с принятой системой.

Код базируется на определенном *алфавите* (некотором множестве знаков).

Число знаков этого множества называется *основанием* кода. Различают следующие типы алфавитов: *цифровой, буквенный и смешанный*.

Совокупность правил, по которым осуществляется кодирование, называется *системой кодирования*.

К кодам предъявляется *ряд требований*. Они должны охватывать все объекты, подлежащие кодированию, и давать им однозначное обозначение; предоставлять возможность расширения объектов кодирования без изменения правил их обозначения; отличаться стабильностью, удобством восприятия и запоминания кодовых обозначений и т. д.

Для определения кода детали разработаны классификаторы ЕСКД: технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения; общероссийский классификатор деталей, изготавливаемых сваркой, пайкой, склеиванием и термической резкой; общероссийский технологический классификатор сборочных единиц машиностроения и приборостроения.

Рассмотрим систему, применяемую для кодирования поверхностей деталей в системе ТехноПро [29].

В данной системе каждая поверхность детали кодируется *трехэлементным шестипозиционным кодом*, имеющим структуру **Вид – Тип – порядковый номер**.

**Вид** поверхностей определяется по признакам формы и расположения, например: цилиндрическая, уступ, конусная, шлицевая и др.

При кодировании **видов** поверхностей *наружным* поверхностям деталей присваиваются числовые значения вида от **01** до **49** включительно, *внутренним* – от **50** до **89**.

**Тип** поверхности детали определяется по ее *расположению* относительно других поверхностей детали: левая, правая, верхняя, нижняя и др.

Для *тел вращения* тип поверхности определяется по расположению поверхности относительно разделительной плоскости – *справа* от разделительной плоскости *тип поверхности* равен **01**, *слева* – **02** (рис. 4.7).

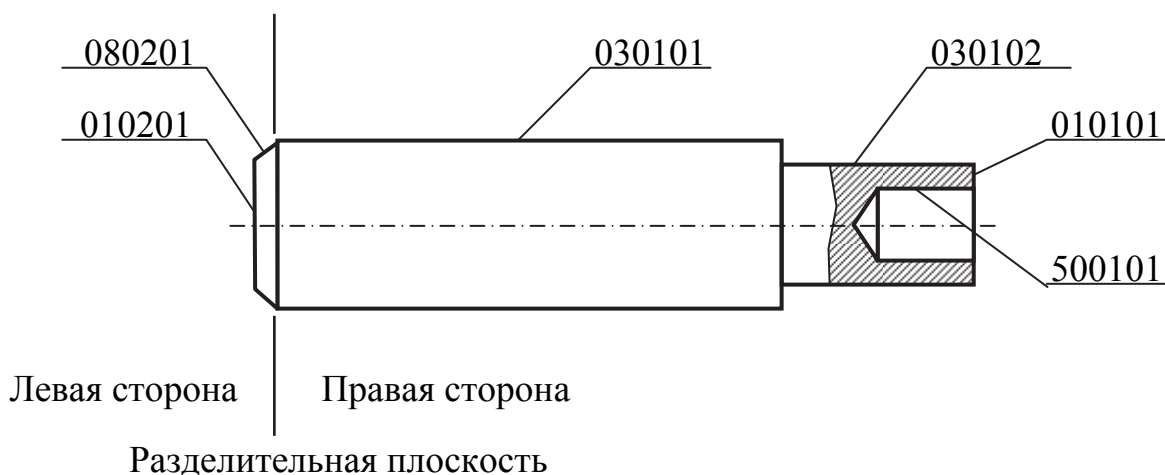


Рис. 4.7. Пример кодирования поверхностей детали «Ось»



Разделительной является плоскость, разделяющая наружный контур детали на правую и левую стороны.

Для определения по чертежу детали типа вращения положения разделительной плоскости последовательно просматриваются диаметры поверхностей в направлении *справа налево* от торца детали.

Если диаметр последующей поверхности меньше диаметра предыдущей или равен нулю, то разделяющая их плоскость является разделительной.

**Порядковый номер** поверхности одного вида и типа детали в виде тела вращения, установлен в последовательности обхода контура в направлении от *разделительной* плоскости к *торцам* детали.

Эскизы *видов* наружных и внутренних поверхностей деталей с кодами представлены на рис. 4.8.



Рис. 4.8. Эскизы наружных (а) и внутренних (б) поверхностей деталей

Тип поверхностей *корпусных деталей* определяется по направлению плоскости детали, на которой она расположена. Например: 01 – левая плоскость, 02 – правая, 03 – верхняя, 04 – нижняя, 05 – передняя, 06 – задняя.

Порядковый номер поверхностей одного вида корпусной детали в каждой плоскости устанавливается возрастающим от 1 до 99 обходом размерной цепи по чертежу детали в направлении от *базовой* поверхности. Применение порядкового номера 0 не допускается.

С использованием кодов поверхностей формируются базы данных с технологическими процессами изготовления деталей, в которых вместо числовых значений конструктивные параметры элемента детали и соответствующие обработке этих поверхностей технологические параметры запи-

сываются в *символьном* (параметрическом) виде. В режиме полуавтоматического и автоматического проектирования при индивидуальном проектировании техпроцесса пользователь в списке указывает коды поверхностей детали и по ним ЭВМ автоматически в дерево техпроцесса добавляет операции и переходы. Затем технолог вводит конкретные *числовые* значения в ячейки полей соответствующих геометрических параметров детали и режимов технологического процесса.

#### **4.3.2. Система ADEM**

Система ADEM – это интегрированная CAPP/CAD/CAM система, разработанная российской компанией «Omega ADEM Technologies Ltd».

Интегрированная система ADEM, вышедшая на отечественный и зарубежный рынки в середине 1990-х годов, появилась в результате научных исследований, проведенных совместно специалистами России, Израиля и Германии.

Задача этих исследований состояла в определении параметров программного комплекса для автоматизации основного объема проектно-конструкторско-технологических работ для предприятий машиностроительного профиля.

Комплекс ADEM состоит из нескольких модулей:

- ADEM CAPP – система проектирования ТП, которая позволяет с различной степенью автоматизации разрабатывать единичные, групповые и типовые ТП по многим направлениям (механообработка, гальваника, сварка, сборка, термообработка и т.д.);
- ADEM CAD – инструмент конструктора, который объединяет известные методы геометрического 2D и 3D (твердотельного) моделирования;
- ADEM CAM – подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ;
- ADEM Vault – электронный архив технических документов, позволяющий объединить в одном информационном пространстве работу конструкторов, технологов и других участников конструкторско-технологической подготовки производства;
- ADEM TDM – инструментальная среда, предназначенная для разработки пользовательских приложений.

В системе ADEM CAPP сделана попытка повышения эффективности технологического проектирования за счет:

- дружественного пользовательского интерфейса (представление ТП в виде дерева, контекстно-зависимое меню и др.);
- интеграции с другими модулями системы;
- использования эффективных методов и способов модификации структуры и состава ТП;

- возможности сохранения частей ТП (операций, переходов и пр.) с целью дальнейшего их использования;
- возможности использования общей для предприятия нормативно-справочной информации, актуальной в любой момент проектирования.

Входную информацию о детали, для которой проектируют ТП (обозначение, наименование, сведения о материале и др.), или импортируют из САД-системы, или вручную вводят с клавиатуры. Предусмотрен выбор информации из справочников базы данных системы.

Последовательность операций (маршрутный ТП) определяет пользователь-технолог. Наименования операций и оборудование выбирают из соответствующих справочников. С каждой операцией может быть связан операционный эскиз или карта наладки. Чертеж или эскиз может быть подготовлен как в системе ADEM, так и импортирован из других систем. Для этого ADEM содержит ряд встроенных конверторов (DXF/DWG, SAT, IGES, STEP и др.). Предусмотрена возможность проектирования ТП на основе типовых ТП-аналогов путем модификации структуры и параметров последних их редактированием.

Переходы, образующие операции, условно разбиты на три группы: установочные, основные и технического контроля. Основные переходы соответствуют конкретной выбранной операции. При формировании текста перехода технолог может использовать чертеж (считывание размеров и другой различной текстовой информации). На основе заданных или определенных по нормативам режимов резания система рассчитывает основное время на переход.

При выборе технологической оснастки используют базы данных приспособлений, вспомогательного, режущего, слесарного, мерительного (универсального и специального) инструмента.

Вся введенная и полученная в процессе проектирования ТП информация помещается в макеты технологических документов. Макеты создают в модуле ADEM CAD, поэтому для их создания и просмотра дополнительное программное обеспечение не требуется. С системой ADEM стандартно поставляется набор макетов для формирования полного комплекта документации технологического назначения в соответствии с ЕСТД.

#### **4.3.3. Программный комплекс ВЕРТИКАЛЬ-Технология**

Система ВЕРТИКАЛЬ предназначена для автоматизации процессов технологической подготовки производства. Разработчиком является российская компания «АСКОН». В системе ВЕРТИКАЛЬ реализован новый подход к организации данных о технологических процессах, базирующийся на объектной модели представления и обработки информации. Основным компонентом программного комплекса является система ВЕРТИ-

КАЛЬ-Технология, которая позволяет пользователю оперировать конструкторско-технологическими элементами (КТЭ). Технологическая часть модели содержит сведения об операциях, переходах, оснастке, конструкторская – отображает состав и структуру обрабатываемых поверхностей детали.

В системе ВЕРТИКАЛЬ-Технология реализованы следующие методы проектирования технологических процессов:

- диалоговый режим проектирования с использованием баз данных системы;
- заимствование технологических решений из ранее разработанных технологий;
- проектирование на основе техпроцесса-аналога;
- проектирование с использованием библиотеки часто повторяемых технологических решений;
- проектирование с использованием библиотеки КТЭ.

Система ВЕРТИКАЛЬ-Технология получает конструкторскую информацию об изделиях (трехмерные модели, чертежи) из системы трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС-3D. Кроме того, в КОМПАС-3D разрабатываются операционные эскизы и другие графические документы.

Модуль ЛОЦМАН-Технолог обеспечивает связь системы ВЕРТИКАЛЬ-Технология с системой ЛОЦМАН: PLM.

#### **4.3.4. Система моделирования процессов производства DELMIA**

Программная система DELMIA разработана во Франции (фирма «Dassault Systemes, S.A.»). Система предназначена для проектирования, планирования и анализа процессов производства. Она расширяет возможности графической системы CATIA за счет инструментов моделирования процессов производства. Имеется возможность включить модули проектирования CAD и разработки управляющих программ CAM системы CATIA в единую среду. Система позволяет моделировать технологический процесс сборки, обработки на станках с ЧПУ, ручной и автоматизированной сварки, потоков материалов в цехе. В ней имеется ряд инструментов для анализа, генерации технологического процесса, оптимизации.

Основные модули системы DELMIA:

- 1) Process Engineer – технологическая база данных – это объединяющее звено системы – вся информация из внутренних модулей системы, а также импортируемая извне хранится в настраиваемой базе данных;
- 2) DPM Assembly Planning – проектирование сборочных процессов;
- 3) DPM Machining Planning – проектирование процессов изготовления деталей;

- 4) DPM Inspection Planning – проектирование процессов контроля качества изделий;
- 5) MTM Planning – проектирование времени выполнения операций;
- 6) DELMIA V5 Robotics – проектирование процессов с участием промышленных роботов (виртуальное обучение, генерация программ и всевозможный анализ);
- 7) DELMIA V5 DPM Powertrain – планирование процессов механической обработки;
- 8) DELMIA QUEST – инструмент имитационного моделирования и анализа производственных потоков, а также моделирования планировки.

#### **4.3.5. Система автоматизации технологической подготовки производства NATA**

Данная программа предназначена для автоматизации конструкторско-технологического проектирования. Интегрированная САПР Технической подготовки производства состоит из двух подсистем: САПР-Конструкция, построенной на базе CATIA V5, и САПР-Технология NATA (New Age Technology Application), являющейся собственной разработкой российской компании «ГЕТНЕТ Консалтинг».

Вся проектная конструкторская и технологическая документация оформляется в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и ЕСТД.

Главными отличительными особенностями системы являются:

- автоматический и диалоговый режим проектирования;
- возможность многовариантного проектирования техпроцессов с проведением стоимостной оценки вариантов;
- высокая, до 100 %, степень автоматизации проектирования;
- интегрированная конструкторско-технологическая база знаний;
- модульный принцип проектирования, базирующийся на конструкторско-технологических модулях;
- решение задач технологического проектирования для любых видов и типов производства;
- специальный язык технологического проектирования, способный решать любые технологические задачи.

Применение системы NATA позволяет:

- значительно повысить производительность труда и качество проектных работ за счет многократного использования существующих наработок, содержащихся в базе знаний;
- осуществлять конструкторское и технологическое проектирование параллельно в едином цикле;
- решать задачи конструкторской и технологической унификации, отработки изделия на технологичность;

- создавать предпосылки для дальнейшего совершенствования ТПП за счет внедрения групповых методов обработки, унификации СТО, специализации рабочих мест, применения прогрессивного оборудования.

#### **4.3.6. Система комплексной автоматизации ТПП TECHCARD**

Система комплексной автоматизации ТПП TECHCARD предназначена для автоматизации проектирования при технологической подготовке производства. Разработчик – белорусская компания НПП «Интермех».

Функциональные возможности системы:

- создание новых и редактирование имеющихся бланков технологической документации;
  - размещение в бланках графических изображений;
  - оформление и вывод на печать документации;
  - поддержка нескольких видов производств;
  - сопровождение базы данных;
  - создание и сопровождение технологических таблиц;
  - создание библиотеки типовых элементов и техпроцессов;
  - создание расцеховочного маршрута;
  - проектирование технологических процессов в диалоговом режиме;
  - обеспечение взаимосвязи с системой ведения архива конструкторской документации SEARCH;
  - обеспечение взаимосвязи с системой разработки конструкторской документации CADMECH для создания операционных эскизов и карт наладки.

В состав баз данных системы входят:

- 1) база данных СТО;
- 2) база данных по основным и вспомогательным материалам, сортаменту и виду заготовок;
- 3) классификатор технологических операций и типовых переходов с описанием переходов;
- 4) информационно-справочные данные для заполнения параметров операционной технологии;
- 5) база знаний по режимам резания и режимам обработки;
- 6) база знаний по нормированию.

В состав комплекса программ входят:

- 1) программа настройки баз данных;
- 2) редактор базы знаний;
- 3) редактор бланков;
- 4) программа просмотра документов;
- 5) экспертная система ТЕСНЕХР;
- 6) программа проектирования техпроцессов (ПРОЕКТ-ТП);

- 7) автоматизированное рабочее место (АРМ) расцеховщика;
- 8) АРМ материального нормирования;
- 9) АРМ нормирования техпроцессов;
- 10) АРМ конструктора оснастки;
- 11) АРМ переводчика комплекта документов на иностранные языки.

Проектирование ТП выполняют в диалоговом режиме по ТП-аналогу или с использованием баз данных. Возможна организация параллельного проектирования сквозного ТП несколькими исполнителями по различным видам производства. Подбор СТО, материалов и исполнителей производят в автоматизированном режиме по алгоритмам, настраиваемым пользователем. Возможна разработка типовых и групповых ТП.

Комплекс позволяет работать на отдельных специализированных АРМ.

Система функционирует под управлением промышленных СУБД Oracle/Inter-base/MS SQL.

#### ***4.3.7. Система автоматизации технологического проектирования T-FLEX Технология***

В 2005 г. компания ЗАО «Топ Системы» разработала САПР T-FLEX Технология. Система обеспечивает автоматизированную разработку маршрутной, маршрутно-операционной и операционной технологии с выдачей не только технологических, но и производственных документов: сводных ведомостей, отчетов, расцеховок. С помощью T-FLEX Технология возможна разработка любых дискретных ТП: заготовительных, механообработки, сборки, штамповки, термообработки, нанесения покрытий и др. Выполняется расчет режимов обработки, расхода материалов и времени обработки.

В системе реализованы следующие методы работы: диалоговое проектирование с использованием баз технологических данных; проектирование на основе ТП-аналога; проектирование с использованием библиотеки технологических решений; заимствование технологических решений из ранее разработанных технологий. Конструктор создает чертежи изделия в T-FLEX CAD, затем эти чертежи поступают к технологу, который связывает параметры конструкции с исходными данными для формирования технологических операций, вносит недостающую технологическую информацию. Таким образом, исходные данные система считывает с конструкторского чертежа и далее использует для расчета параметров ТП изготовления изделия. Разработаны локальная и коллективная (работающая в PDM-системе T-FLEX DOCs) версии системы, при этом использована мощная промышленная СУБД MS SQL Server.

#### 4.3.8. Система TechnologiCS

Разработчик системы TechnologiCS – компания «Consistent Software». Комплекс, объединяющий программные продукты MechaniCS и TechnologiCS, может рассматриваться как интегрированная САПР, формирующая единую систему технической подготовки производства и общую базу конструкторско-технологической информации.

Система MechaniCS обеспечивает:

- формирование чертежей и спецификаций по ЕСКД, конструкторской документации в единой системе ТПП;

- автоматизацию нормоконтроля.

Система TechnologiCS обеспечивает:

- автоматизированное проектирование ТП;

- материальное и трудовое нормирование;

- выполнение автоматизированных расчетов на узел, изделие, производственную программу, а именно:

- определение потребности в материалах, стандартных изделиях, комплектующих, инструменте и т. д.;

- определение сводной трудоемкости;

- оценку загрузки оборудования;

- расчет длительности производственного цикла.

Каждая из систем может использоваться автономно и реализовываться на базе персональных компьютеров стандартной конфигурации в операционной системе Windows.

Система TechnologiCS, наряду с автоматизацией проектирования ТП, позволяет формировать необходимую информацию для планирования, диспетчеризации и управления производством.

Проектирование ТП в системе выполняют на основе процессор-аналогов. Разработчики системы при её создании исходили из следующих основных принципов:

- технолог не должен многократно описывать ТП (т.е. единожды разработав типовой или групповой ТП, он должен использовать его при создании единичного техпроцесса);

- документация (в том числе ведомости деталей, включающие перечень операций по типовому ТП и их индивидуальные особенности) должна формироваться автоматически;

- система должна хранить в единичном ТП связи операций, выполняемых по типовому (групповому) ТП, с процессом-аналогом, чтобы обеспечить в нем необходимые изменения;

- технолог, работая со сквозным единичным ТП, должен иметь информацию о том, какие операции этого ТП принадлежат различным типовым и групповым процессам.



Для разработки и хранения процессов-аналогов в системе предназначен отдельный справочник.

Процесс-аналог (например, типовой ТП) содержит исчерпывающий перечень технологических операций, характерных для всех деталей, изготавливаемых на его основе. Для каждой операции могут указываться оборудование, переходы, инструмент, вспомогательные материалы и режимы, являющиеся общими для всей совокупности деталей, изготавливаемых по данному ТП.

Перенос информации о типовом ТП при проектировании на его основе единичных ТП проводят, используя параметры двух типов:

- 1) технологический передел (вид обработки);
- 2) уникальный номер операции в типовом ТП.

Параметр «Технологический передел» – ссылочного типа: он ссылается на специально заведенный справочник переделов. Такой параметр должен иметь каждый элемент типового (группового) ТП, поскольку именно он служит тем самым признаком, который в единичном ТП отличает элементы типового ТП от остальных. Каждому технологическому переделу соответствует собственный вид комплекта документации.

Параметр «Уникальный номер операции в типовом ТП» необходим для автоматического формирования перечня операций для деталей в ведомостях (используется для групповых ТП): он подключается только к операциям ТП.

#### **4.3.9. Система автоматизации технологического проектирования ТехноПро**

Система ТехноПро предназначена для автоматизации проектирования маршрутных, маршрутно-операционных и операционных технологических процессов, включая формирование маршрута, операций и переходов, с выбором оборудования, приспособлений, подбором инструментов, формированием текстов переходов, расчетом технологических размерных цепей, режимов обработки и норм изготовления [29]. Разработчиками являются специалисты фирмы «Вектор» и компании «Топ системы».

Кроме проектирования технологии изготовления механообрабатываемых деталей, система ТехноПро может применяться для проектирования технологических процессов сборки, сварки, покрытий, термообработки, электромонтажа, изготовления печатных плат и др.

Система обеспечивает взаимодействие с пользователем в автоматическом, полуавтоматическом и диалоговом режиме.

Пользователи могут выбрать метод проектирования и вид взаимодействия с системой в зависимости от решаемых задач, например: могут проектировать сборочные технологические процессы в диалоге, техноло-

гию изготовления корпусных деталей в полуавтоматическом режиме, тел вращения в автоматическом режиме.

Наряду с оригинальным методом проектирования на основе «общих технологических процессов» система поддерживает большинство традиционных методов: проектирование по типовому, групповому, технологическому процессу-аналогу.

Система ТехноПро может работать как в локальной сети, так и автономно на отдельных рабочих местах. Программной средой для реализации T-FLEX/ТехноПро является система управления базами данных Microsoft Access. Все данные хранятся в табличном виде.

Входная информация для проектирования технологических процессов может быть получена из чертежей, выполненных в электронном виде в системе T-FLEX CAD.

Выходная информация может быть представлена в виде разнообразных технологических документов: карт технологического процесса, карт контроля, карт эскизов, ведомостей и других документов, форма и содержание которых может определяться самим пользователем.

При разработке технологической документации используются шаблоны, созданные с помощью текстового процессора MS Word.

Информационные средства системы разделены на четыре взаимосвязанные базы данных: базу «Конкретных технологических процессов», базу «Общих технологических процессов», базу «Условий и расчетов» и «Информационную базу».

В базе «*Конкретных технологических процессов*» (КТП) содержатся операции и переходы конкретных технологических процессов. КТП используется при проектировании технологических процессов для изготовления или сборки конкретного вида изделия и выдачи их на печать в технологических картах.

В базе «*Общих технологических процессов*» (ОТП) находятся данные с наборами операций, переходов, оснащения. В ОТП детали и технологические процессы группируются по обобщающим признакам: функциональному назначению деталей, единству оборудования и т. д. ОТП служит для *автоматического проектирования* технологических процессов. Оснастка и инструмент вносятся в ОТП из «Информационной базы» системы. Правила подбора оснастки и инструмента назначаются через «Условия», вносимые из базы «Условий и расчетов».

В «*Информационной базе*» (ИБ) содержатся перечни средств технологического оснащения, включая: оборудование, приспособления, инструменты, а также тексты переходов, материалы, инструкции, наименования операций. Структура и содержание ИБ полностью доступны для изменения пользователем. Содержание может быть изменено для отражения условий конкретного производства.

В базе «Условий и расчетов» (БУР) содержатся данные с условиями выбора операций, переходов, оснащения, а также необходимые расчеты параметров технологических процессов.

В системе ТехноПро автоматическое проектирование основано на описаниях операций и переходов изготовления поверхностей деталей (элементов конструкции) на конкретном производстве. Чем больше внесено операций и переходов, тем выше вероятность того, что технология изготовления новых деталей может быть спроектирована в ТехноПро.

В ТехноПро применен метод классификации деталей, противоположный методу типовых техпроцессов. При классификации типовых техпроцессов детали разбиваются на возможно большое количество групп, для которых создаются типовые техпроцессы. В ТехноПро, напротив, как можно большее количество деталей *объединяются в одну группу*, по мере расширения группы возрастает гарантия того, что технология изготовления новых деталей, поступивших в производство, будет автоматически спроектирована в ТехноПро.

В ТехноПро можно применять диалоговый режим проектирования или автоматический режим, а также их сочетание. При создании каждого технологического процесса (ТП) пользователь задает его тип: «ТП изготовления» или «ТП сборки».

В начале изучения системы пользователи могут использовать диалоговый режим проектирования и работать с базой «Конкретных технологических процессов» и «Информационной базой». Каждый созданный техпроцесс может быть скопирован и на его базе создан новый ТП. Копировать и редактировать можно как техпроцесс полностью, так отдельные операции и переходы различных технологических процессов. В базе КТП можно создавать наборы типовых ТП, операций и переходов, из которых затем можно формировать требуемый техпроцесс.

Для автоматизации расчетов в диалоговом режиме используются «Условия» из базы «Условий и расчетов».

*Условие* – выражение, состоящее из левой части, в которой записывается проверяемое условие и проверяемое выражение, и из правой части – действия, которое выполняется при удовлетворении этого условия. Условия позволяют оценивать параметры деталей, проектируемого процесса, и в зависимости от их значений назначать выбор операций, переходов, проводить расчеты режимов обработки, норм времени изготовления и т. д. Наборы «Условий» можно сводить в «Сценарии».

*Сценарий* представляет собой заранее записанную последовательность выполнения действий при проектировании ТП с установкой порядка открытия окон для выбора параметров, выполнения «Условий». Нажатием одной кнопки все процедуры будут выполняться в порядке, заданном при создании «Сценария».

Каждый текст перехода, наименования операции, оборудования и инструмент, вводимые в проектируемый техпроцесс, запоминаются системой в «Информационной базе» и в дальнейшем могут выбираться из неё. Это ведёт к постоянному расширению объема технологических данных в базах системы и ускорению проектирования.

По мере освоения и эксплуатации системы ТехноПро в её базах накапливается множество технологических процессов.

Обычно, технология изготовления деталей, сходных по конфигурации, на 70-80 % состоит из одинаковых операций. В этом случае можно перейти к созданию базы автоматического проектирования технологических процессов. Для этого следует сгруппировать детали, в основном по сходству технологии их изготовления. При этом для каждой группы создается «Общий технологический процесс», содержащий весь перечень операций изготовления всех деталей группы. Для наполнения ОПИ используются техпроцессы, уже освоенные в производстве. Можно использовать ТП как на бумаге, так и в электронном виде, находящиеся в КТП, созданные в диалоговом режиме.

На рис. 4.9 представлено окно «Информационной базы» системы ТехноПро.

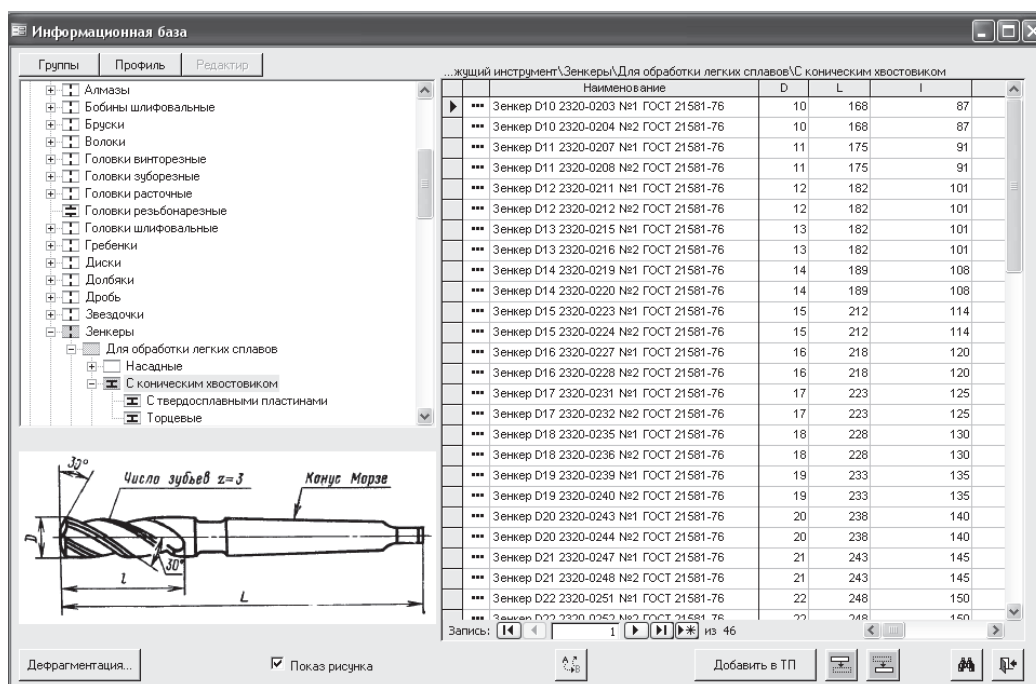


Рис. 4.9. Окно «Информационной базы» системы ТехноПро

В окне представлено дерево с группами определенной технологической информации. Щелкнув по названию группы курсором, ее открывают, выбирают в таблице требуемый вариант и нажатием кнопки [Добавить в ТП] заносят его в разрабатываемый техпроцесс.

Для того чтобы увидеть, какие имеются в системе технологические процессы и выполнить проектирование нового, следует открыть окно базы «Конкретные технологические процессы», используя соответствующую кнопку основного меню системы ТехноПро.

В диалоговом окне «Конкретные технологические процессы» в дереве техпроцессов вкладки «Группа» находятся группы созданных техпроцессов. Для разработки нового ТП следует курсор поместить на пункт *Конкретные ТП*, нажать *правую* кнопку мыши и в появившемся меню (рис. 4.10) выбрать пункт **Добавить Дет** (при проектировании ТП изготовления детали) или **Добавить Сб** (при проектировании ТП сборки).

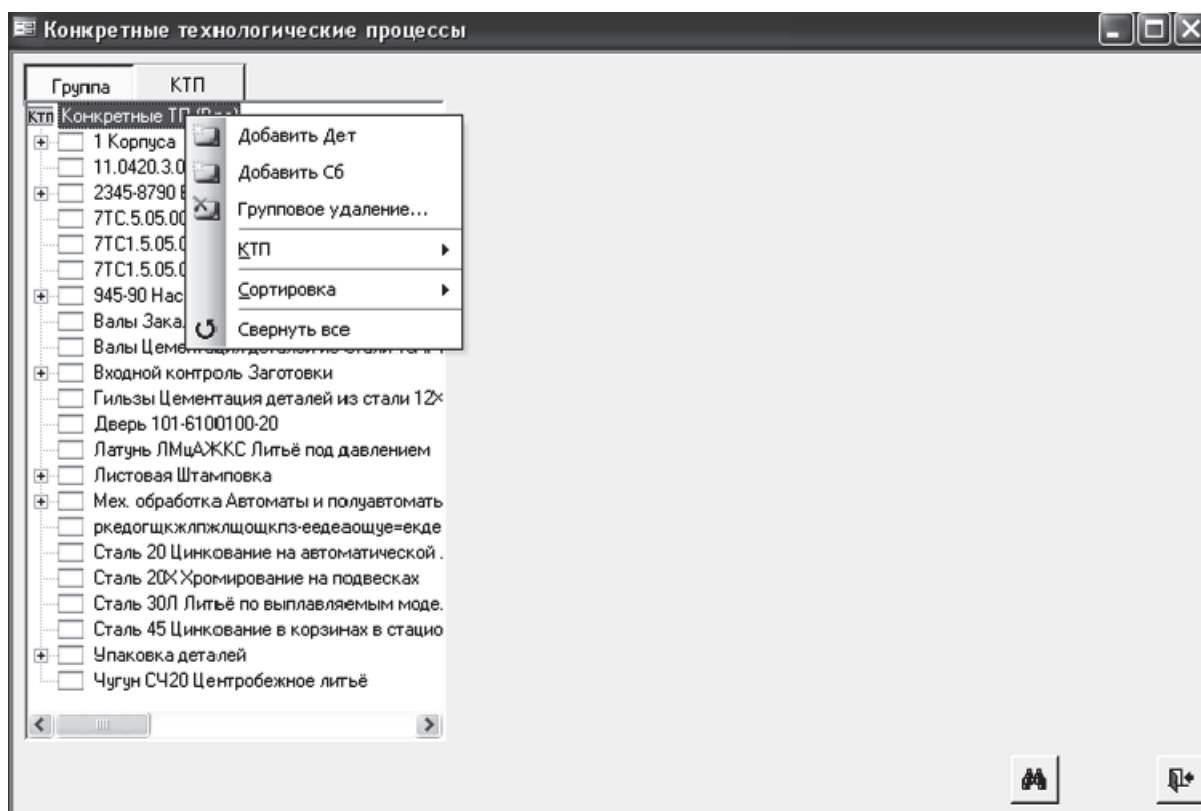


Рис. 4.10. Окно базы «Конкретные технологические процессы»

После заполнения полей «Обозначение детали» и «Наименование детали» следует щелкнуть курсором в области дерева техпроцессов. В дереве техпроцессов появится наименование нового ТП и автоматически открывается вкладка «КТП». Чтобы сформировать операцию нового техпроцесса, следует установить курсор на пункт *ТП Деталь*, нажать *правую* клавишу мыши и в меню выбрать пункт **Добавить Опр**. Затем в поле выбрать из списка *наименование* операции. Если в списке нет требуемого наименования, текст можно ввести с помощью клавиатуры. Кроме того, следует заполнить поля, связанные с назначением применяемой оснастки, установкой значений режимов обработки и т. д. (рис. 4.11).

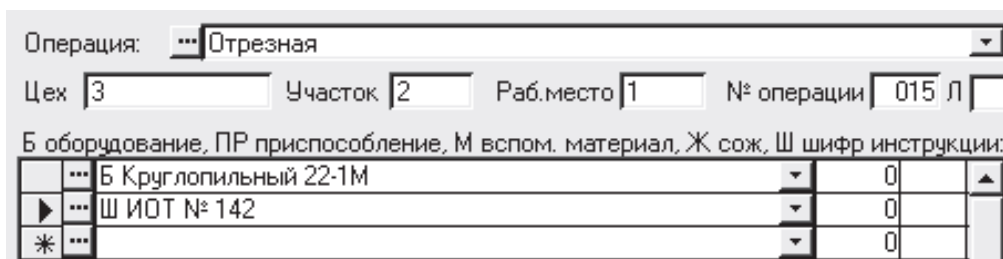


Рис. 4.11. Фрагмент формы для ввода данных технологической операции

Для того чтобы спроектировать следующую операцию, следует курсор снова установить на пункт *ТП Деталь* и выполнить действия по назначению наименования и других параметров новой операции.

Чтобы выполнить проектирование перехода, следует в дереве техпроцесса установить курсор на *наименование операции*, нажать правую клавишу мыши и выбрать в меню пункт **Добавить Пер.** В правой половине вкладки «КТП» откроется форма с полями для ввода технологических данных перехода. Текст перехода можно выбрать из «Информационной базы» или ввести с помощью клавиатуры. В соответствующие поля заносятся данные, связанные с СТО и режимами, нормами времени обработки и другая информация.

На рис. 4.12 представлено окно с деревом техпроцесса в открытой вкладке «КТП».

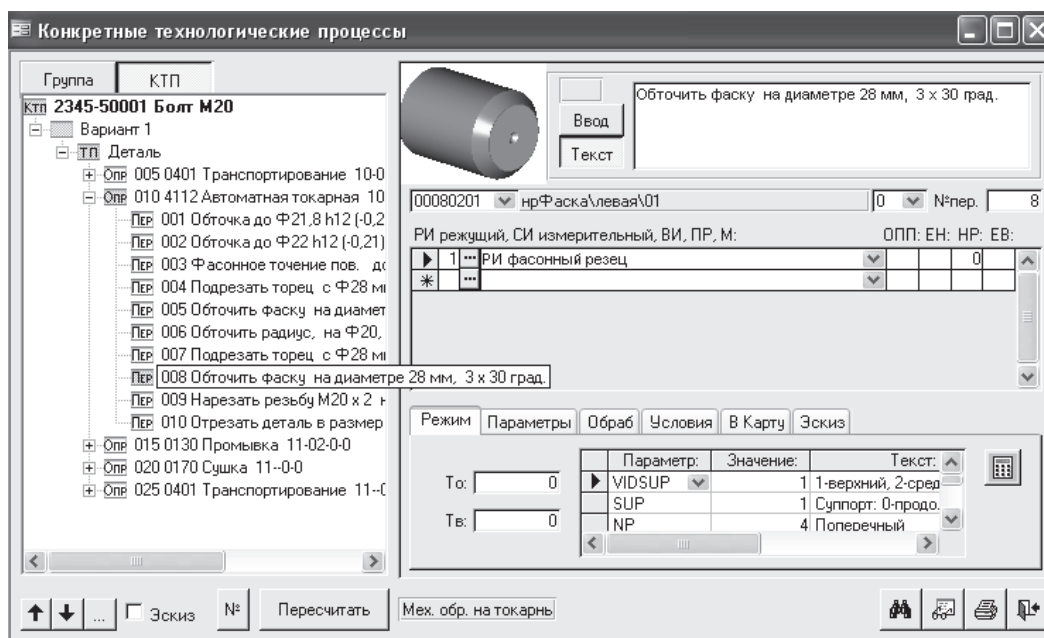


Рис. 4.12. Вкладка КТП с деревом техпроцесса

Если при проектировании техпроцесса требуется использовать условие, его выбирают из базы «Условий и расчетов», окно которой представлено на рис. 4.13.

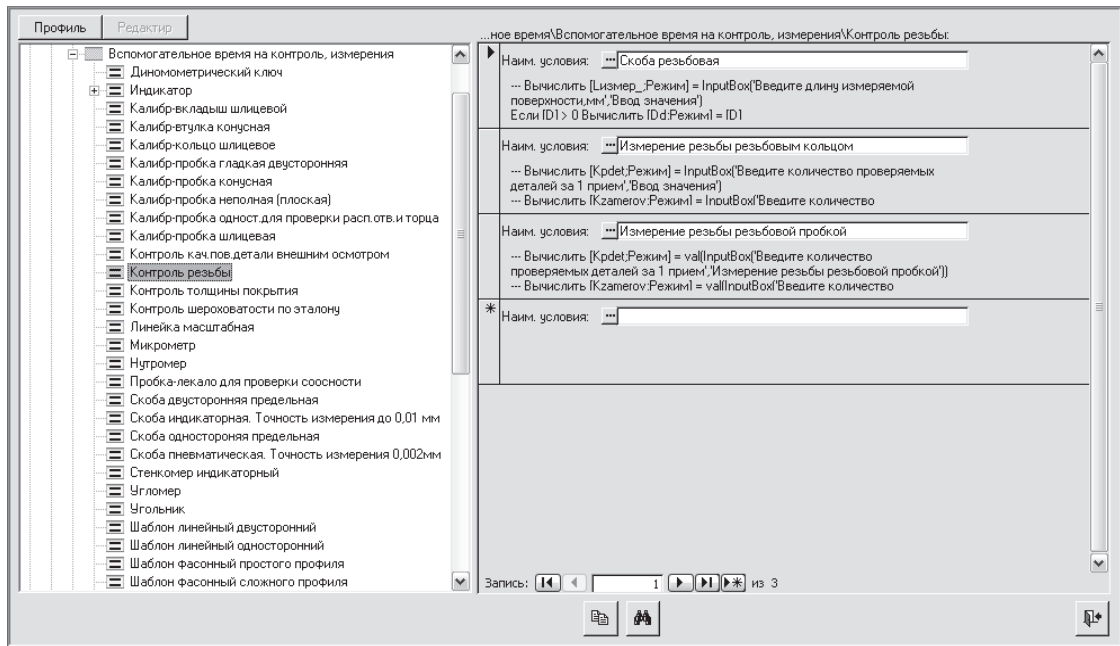


Рис. 4.13. Окно базы «Условий и расчетов»

После создания дерева нового технологического процесса изготовления детали или сборки следует сформировать электронный документ.

Фрагмент электронного документа операционного техпроцесса представлен на рис. 4.14.

ГОСТ 3.1404-86 Форма 2 САПР											
Дубл.											
Взам.											
Подл.											
ТехноПро								4	1		
Разраб.	Лихачев А.А.			КНАГТУ							
Проверил	Иванов И.И.				2345-8897						
Нормир.	Рабинович Р.Р.										
Метролог	Сидоров С.С.							Цех	УЧ	РМ	
Н. контр.	Никонов Н.Н.									Опер. 005	
		Наименование операции		Материал		Твердость		Профиль и размеры		МЗ	
		4112 Автоматная токарная		Ст3пс ГОСТ 535-88		НРС 32...40		10 ГОСТ 2879-88		КОИД	
		Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы		То		Тв		Тшт	
		Токарный автомат 1E125		СОЖ		0		0			
Р	ПИ	D или B	L	T	i	S	N	V	O	То/мин	Тв/мин
T01		PR. Патрон 1-30-10-100	ГОСТ 26539-85								
Ж02											
O03											
O04	1	Подача прутка до упора на длину 73 мм.									
O05											
T06		ВИ. упор; СИ. Штангенциркуль ШЦК-II-300-0,1-1	ГОСТ 166-89								
O07											
R08			73								
O09											
O10	2	Поворот револьверной головки									
O11											

Рис. 4.14. Фрагмент электронной карты с техпроцессом

После проверки и корректировки созданного технологического процесса можно оформить технологический документ на бумажном носителе.

#### **4.3.10. Система проектирования сборочных технологических процессов ТеМП АСП**

Программная система ТеМП АСП (Технологическое моделирование процессов Агрегатно-сборочного производства) предназначена для автоматизированной разработки технологических процессов с использованием в качестве исходного источника информации электронной модели сборки агрегата, панели, сборочной единицы и т. п., конвертируемой из системы Teamcenter. Разработчиками являются сотрудники РГУТУ-МАТИ им. К.Э. Циолковского и Ульяновского объединения «АВИАСТАР-СП».

С помощью системы ТеМП АСП технолог разрабатывает технологический процесс сборки элементов планера самолета с формированием необходимых документов для подготовки производства и выполнения сборочных работ с учетом требований техники безопасности.

В системе реализован метод индивидуального проектирования, когда технолог формирует ТП в автоматизированном режиме, выбирая виды работ, содержание операций и переходов и используя каскадные меню. При проектировании «по аналогу» система выполняет автоматическое формирование всего ТП или его отдельных фрагментов.

В системе создается комплект документов технологического процесса: маршрутные, операционные и комплектовочные карты, карты эскизов и технического контроля, ведомости оснащения, технологический паспорт и карта измерений. Имеется возможность построения цикловых графиков.

Система позволяет проектировать процессы на уровне выбора принципиальных конструктивно-технологических решений (КТР), разработки укрупненных и рабочих ТП.

Проектирование выполняется на ПЭВМ с использованием баз нормативной документации отрасли и предприятия (данные ГОСТ, ОСТ, СТП, производственных инструкций) и баз данных (оборудование и инструмент, материалы, крепёжные изделия) находящихся в базе данных системы. При этом на экране отображается последовательность сборки и порядок установки деталей. В системе предусмотрена возможность показа компьютерной сборки с установкой деталей в сборочное приспособление и определением положения исполнителей и используемого инструмента для оценки технологичности конструкции и возможности сборки агрегатов на этапе технологической подготовки производства.

Конечным результатом является комплект технологических документов в электронной форме с расположением в системе Teamcenter, с возможностью вывода информации на бумажных носителях информации для использования в производстве.

Система ТеМП состоит из подсистемы проектирования технологических процессов и подсистемы подготовки информационной среды.



Информационная среда подготовки производства включает в себя описание состава, параметров и атрибутов элементов производственной системы (оборудования, инструментов, средств технологического оснащения), параметров и факторов изделий, влияющих на проектирование технологических процессов и выбор СТО, а также моделей технологических знаний, описывающих алгоритмы технологического проектирования.

При разработке моделей информационной среды используются методы *объектно-ориентированного моделирования*. При этом модели, описывающие объекты (элементы производственной системы), представляются в виде информационных сущностей, а логические связи и параметрические расчеты, участвующие в описании моделей принятия решений, формируются на *языке описания технологических знаний* и представляются в информационной среде в виде *базовых и комплексных технологических модулей*.

Объекты информационной среды формируются и поддерживаются средствами системы и СУБД «Oracle».

Основой для разработки информационной среды являются материалы, содержащие описания типовых операций, а также таблицы расчета технологических режимов и нормирования, действующие на предприятии.

Информационная среда состоит из программ, реализующих взаимодействие между объектами на основе информационных моделей и алгоритмов.

Для описания моделей технологического проектирования используется язык технологических знаний (ЯТЗ). Язык разработан для инженеров-технологов, разрабатывающих и сопровождающих технологическую часть информационного обеспечения и предназначен для описания алгоритмов поиска технологических решений из имеющихся типовых в виде элементов технологического процесса. ЯТЗ позволяет формировать определенные типы алгоритмических моделей, обслуживающих процесс проектирования, а также оперативно изменять их в условиях частой смены объекта производства, характерной для предприятий авиационной промышленности.

Компилятор ЯТЗ осуществляет перевод технологического алгоритма, написанного в его среде, в некоторую управляющую программу, используемую системой для обработки информации в процессе проектирования технологии.

Рассмотрим основные информационные модели, используемые в системе ТеМП.

*Базовый технологический модуль* (БТМ) – модель, содержащая описание однопереходной типовой технологической операции и включающая в себя информацию, необходимую для проектирования рабочих операций и переходов. БТМ является моделью 1-го уровня.

Взаимодействие компонентов модели 1-го уровня с отдельными компонентами информационной среды можно представить в виде укрупненной схемы (рис. 4.15).

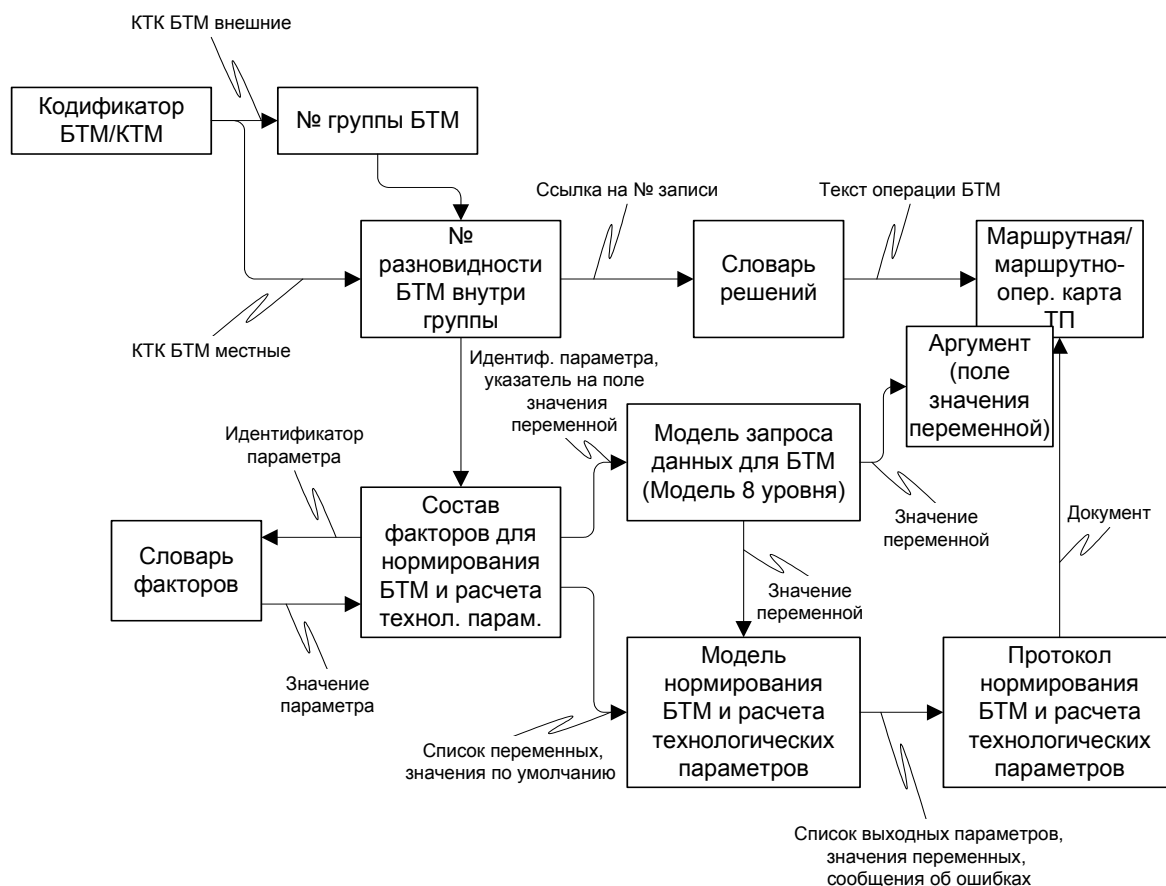


Рис. 4.15. Схема взаимодействия компонентов модели БТМ 1-го уровня с отдельными компонентами информационной среды

Пример состава базовых технологических модулей:

1) **Установка деталей и съём вручную:**

- а) установка простым наложением;
- б) установка по кромке;
- в) съём.

2) **Базирование:**

- а) вручную по упорам приспособления;
- б) вручную по рубильникам, ложементам;
- в) вручную по фиксаторам координатно-фиксирующих отверстий (КФО);
- г) вручную по отверстиям разъёма;
- д) вручную по разметке на базовой детали;
- е) вручную по поверхностям деталей;
- ж) вручную по контурам деталей;
- з) вручную по сборочным отверстиям (СО).

Модель выбора СТО (модель 3-го уровня). Решениями алгоритма выбора СТО (модели 3-го уровня) являются идентификаторы позиций БД СТО и раздела `slowr.rsh`.

Взаимосвязь модели 3-го уровня с основными компонентами информационной среды можно представить в виде укрупненной схемы (рис. 4.16).

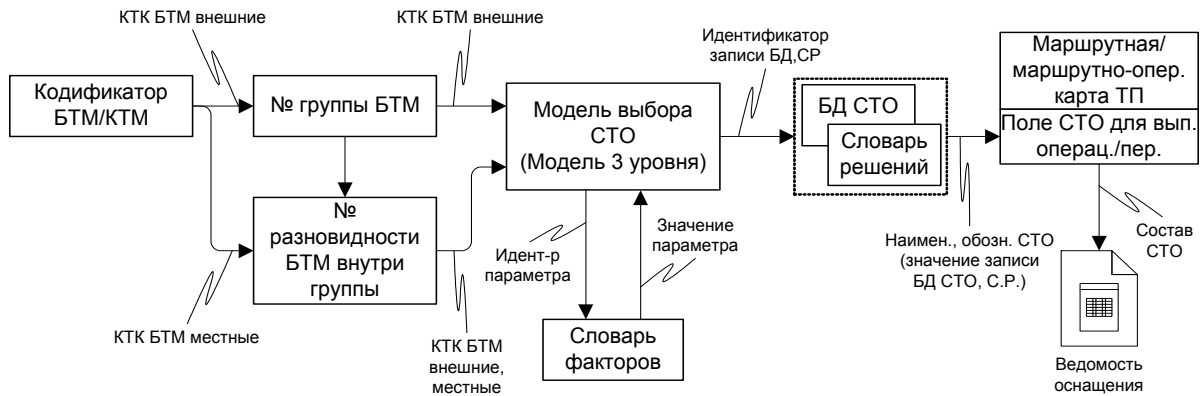


Рис. 4.16. Взаимосвязь модели выбора СТО (модель 3-го уровня) с основными компонентами информационной среды

*Комплексный технологический модуль (КТМ)* – модель, содержащая описание работ совокупности входящих БТМ для группы предметов труда с общими конструктивными технологическими признаками.

Исходные данные для разработки КТМ:

- 1) классификатор БТМ;
- 2) словарь решений (раздел `slowr.rsh`);
- 3) словарь габаритов СТО (раздел `Slowg.slg`).

Состав КТМ:

- 1) модель запроса вариантов исполнения работ (модель 7-го уровня);
- 2) модель запроса данных для КТМ (модель 8-го уровня для КТМ);
- 3) модель формирования текста КТМ (Модель 0-го уровня);
- 4) модель формирования состава и последовательности БТМ в КТМ (модель 1-го уровня для КТМ);
- 5) модель согласования данных по указателям КТМ и БТМ (модель 4-го уровня);
- 6) модель формирования технических требований к ТП.

Массив БТМ, входящих в КТМ, может иметь как линейную, так и ветвящуюся структуру (рис. 4.17).

Согласование переменной информации, включенной в запись решения каждого из БТМ, осуществляется посредством рассылки значений параметров, полученных при обработке КТМ, по указателям на соответствующую область данных.

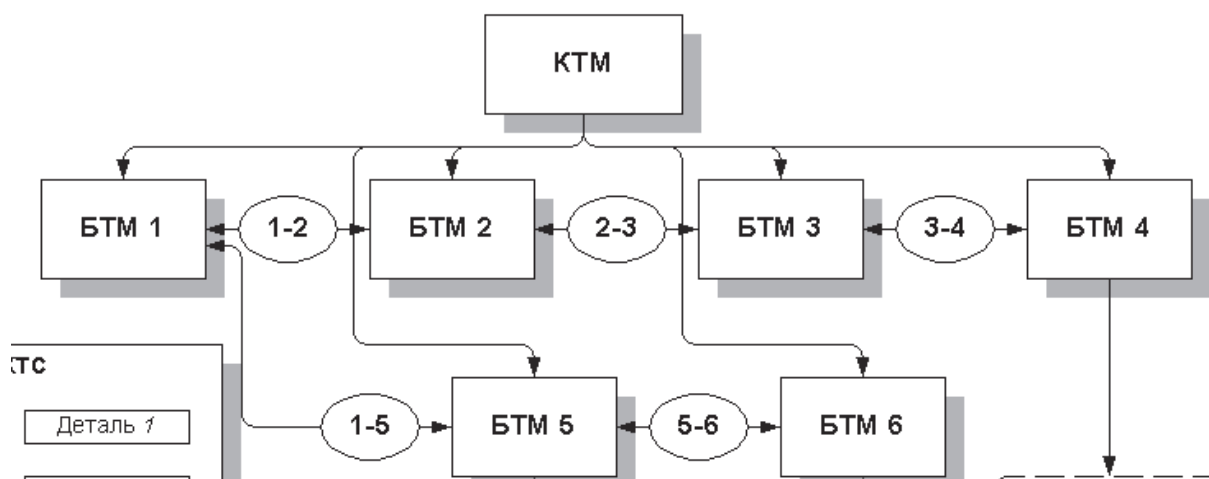


Рис. 4.17. Взаимосвязь БТМ и КТМ

Выбор технологической ветви КТМ зависит от состава и значений параметров, по которым был выбран узловой БТМ.

Нормирование КТМ происходит посредством суммирования результатов нормирования каждого БТМ, вошедшего в состав КТМ. Состав средств технологического оснащения для КТМ формируется подсистемой автоматически при обработке информационных моделей базовых технологических модулей, вошедших в состав комплексного модуля.

Для нормирования КТМ, предназначенных для моделирования директивных технологических процессов, предусмотрена возможность разработки и использования моделей нормирования для всего КТМ, без учета моделей нормирования комплекса БТМ, вошедших в состав КТМ.

Последовательность БТМ внутри КТМ строго упорядочена и определена последовательностью выполнения технологических операций.

Присвоение значений параметрам (заполнение символьных полей записи решений, численные значения переменных, формирование списка факторов и их значений для выбора СТО и т. п.) может осуществляться поэтапно с уточнениями, после создания «эскиза» технологического процесса, что позволяет осуществить нормирование операций и технологических переходов на заключительном этапе создания технологического процесса.

Алгоритм разработки комплексного технологического модуля включает следующие этапы:

1) анализ технологических аспектов разработки КТМ. Необходимость разработки того или иного КТМ определяется на основе классификации типовых конструкций и применяемых для их производства технологий;

2) однозначное определение начального и конечного состояний объекта производства;

3) определение последовательности видов работ для варианта с наибольшим количеством операций;

4) анализ вариантов реализации КТМ, редактирование состава и последовательности работ;

5) определение состава и последовательности БТМ по каждому из видов работ;

6) анализ видов работ с целью выделения технологически законченных этапов работ, выполнение которых позволит перейти к выполнению работ не только данного КТМ, но и других;

7) выявление логической взаимосвязи между видами работ с целью оптимизации задачи формирования исходной информации для выбора варианта реализации КТМ.

Пример состава комплексных технологических модулей:

1) вырезка окна, отверстия;

2) герметизация (400-ПИ.2У, ТИ0111-96);

3) заключительные работы;

4) заключительные работы, транспортировка груза;

5) клепка колпачковых и анкерных гаек;

6) клепка на автомате IPAC;

7) клепка на автомате клепальном АК-2.2-0.5;

8) клепка на стационарном оборудовании (прессах);

9) клепка ручным инструментом;

10) крепление трубопроводов к каркасу или кронштейну каркаса;

11) крепление трубопроводов к каркасу или кронштейну каркаса.

Открепление трубопровода;

12) монтаж дверей и люков;

13) нанесение ЛКП;

14) нанесение огнезащитных покрытий.

Подсистема проектирования предназначена для формирования и ведения информационной среды, конвертирования электронных моделей из САД-систем, формирования технологической модели сборочной единицы, проектирования и нормирования рабочего ТП, формирования комплекта технологической документации, формирования цикловых графиков.

Проектирование выполняется с помощью системы диалоговых окон различных форм, позволяющих технологу выполнять выбор требуемых функций, информации из БД, ввод данных и т. д.

### **Проектирование технологического процесса**

При запуске системы ТеМП открывается главное окно, которое содержит строки меню и инструментальные панели. *Основное окно* системы с раскрытым меню «Подсистемы» представлено на рис. 4.18.

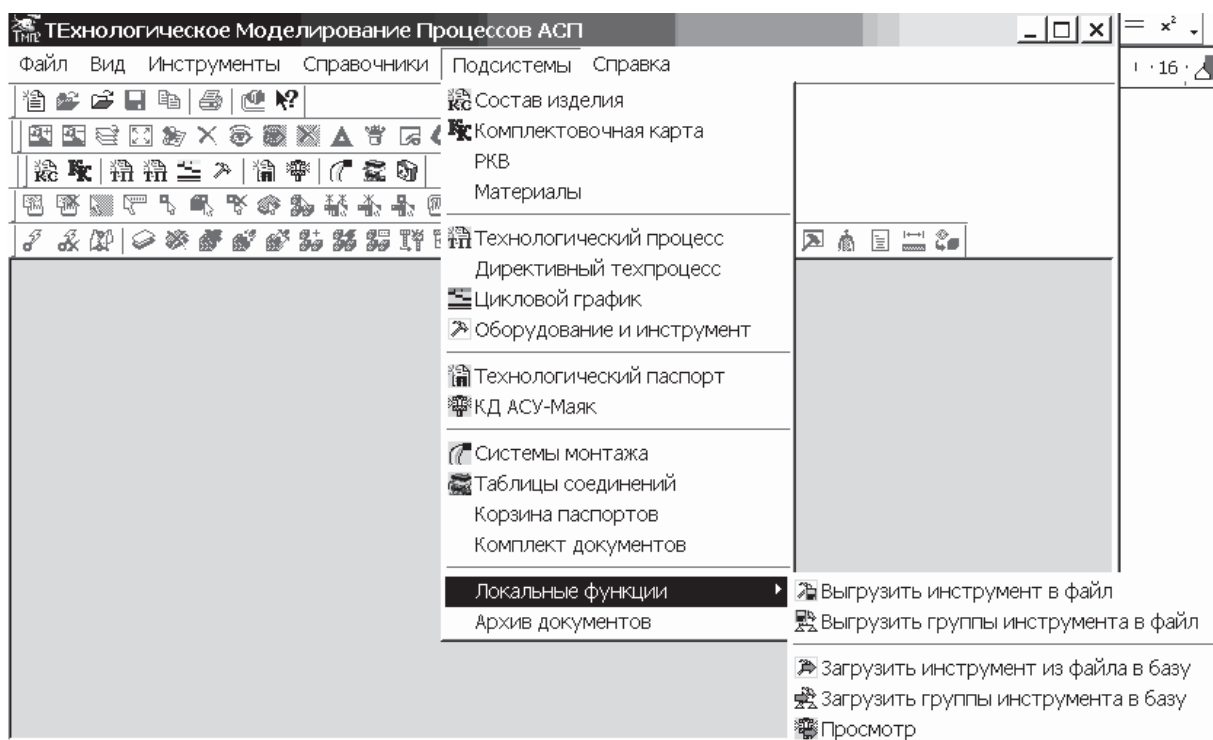



Рис. 4.18. Фрагмент основного окна с раскрытым меню «Подсистемы»

Перед проектированием следует выполнить выбор цеха и загрузить дерево изделия с помощью кнопки  **Дерево состава изделия** панели инструментов системы.

Перед началом проектирования технологического процесса следует из состава дерева изделия выбрать электронную модель сборочной единицы, выполнить конструктивно-технологический анализ и разработку технологического электронного макета.

В системе ТеМП технологический электронный макет (ТЭМ) используется для моделирования состояний сборочной единицы в ходе выполнения технологического процесса.

В состав ТЭМ входит дерево соединительных швов. Исходные геометрические модели деталей и узлов, входящих в технологический электронный макет, формируются с учетом условий их поставки на сборку.

Работа с электронным макетом (ЭМ) и формирование ТЭМ выполняется в системе визуализации.

Визуализатор системы отслеживает и отображает состояние элементов ТЭМ после выполнения операций и переходов, в том числе состояние каждой крепежной точки соединительного шва.

Пример работы с ЭМ панели в окне визуализатора системы ТеМП представлен на рис. 4.19.

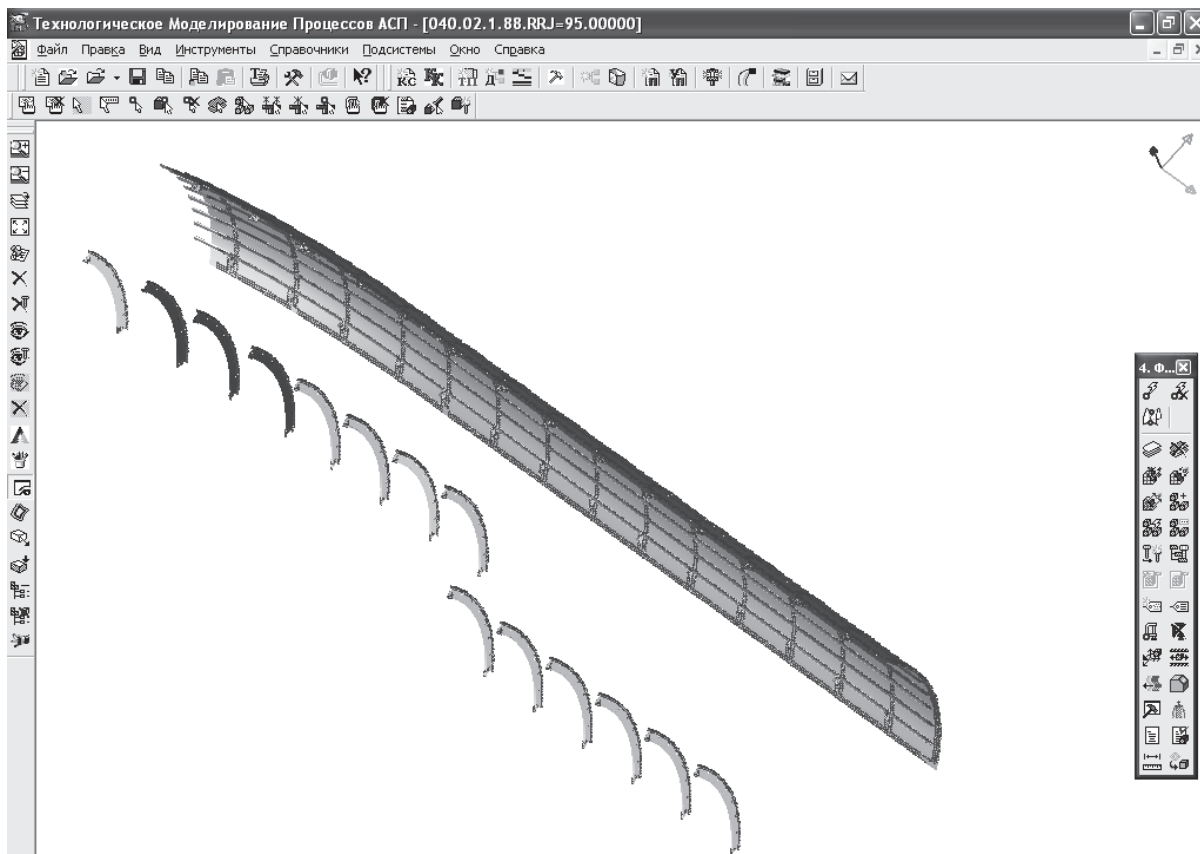


Рис. 4.19. Пример отделения сегментов шпангоутов от обшивки

Функциональные возможности визуализатора позволяют выполнить перемещение и вращение сборочной единицы и ее элементов, увеличение или уменьшение изображений и др.

Для работы с соединительными швами сборочной единицы используется окно состояния соединительных швов (рис. 4.20)

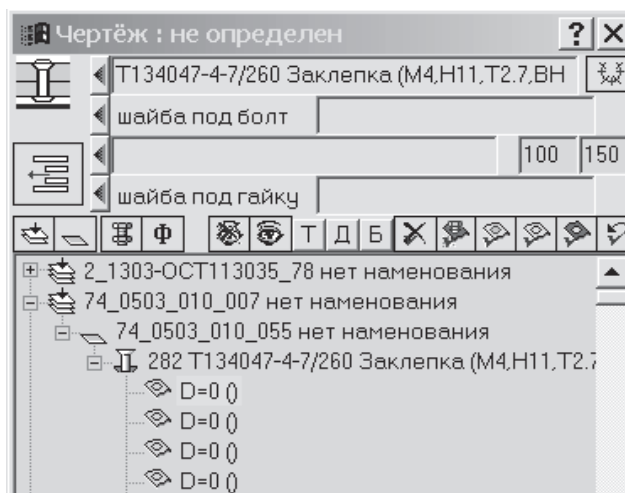



Рис. 4.20. Окно состояния соединительных швов

Для того чтобы начать проектирование технологического процесса, следует на инструментальной панели или в меню системы выбрать команду  **Технологический процесс**. В результате выполнения команды появляется окно техпроцессов (рис. 4.21).

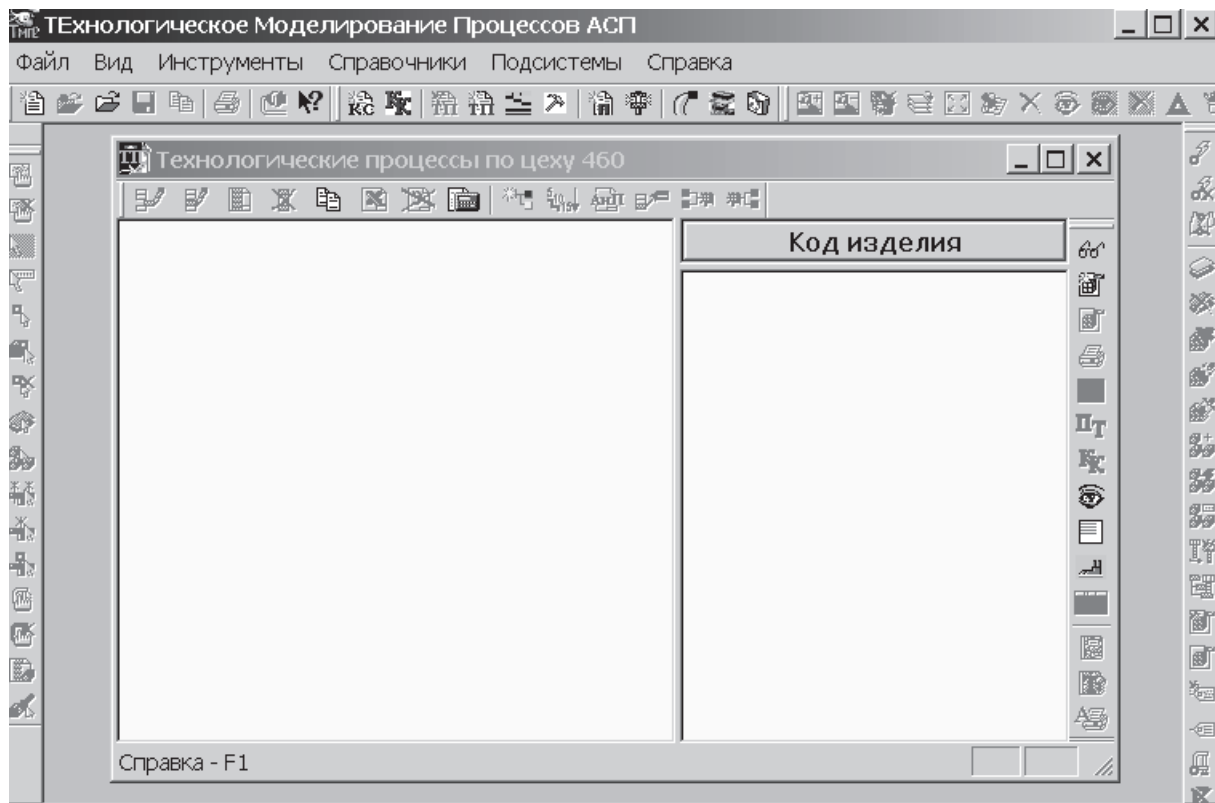



Рис. 4.21. Окно «Технологические процессы»

После «разборки» и установления начального состояния модели создается титульный лист техпроцесса кнопкой .

В открывшемся окне «Титульный лист Технологического процесса» (рис. 4.22) следует заполнить поля необходимой информацией.


Цех	006	Код изделия	<input type="text"/>	Серия введения	0001	Серия ограничения	999999
Обозначение техпроцесса	006.02.1.88.0.00000						
Наименование техпроцесса	<input type="text"/>						
Обозначение чертежа	<input type="text"/>						
Наименование чертежа	<input type="text"/>						
Технолог	<input type="text"/>					Литера	
Начальник техбюро	<input type="text"/>						<input type="text"/>

Рис. 4.22. Фрагмент окна для формирования титульного листа



Поля с *кодом* изделия, *номером* цеха и *обозначением* техпроцесса заполняются в обязательном порядке. После заполнения реквизитов окна следует нажать кнопку **Запись**. В дереве технологических процессов появится дерево нового ТП.

Все работы в дереве технологических процессов осуществляются только с техпроцессами своего цеха. ТП другого цеха может быть открыт только для просмотра.

Для выполнения проектирования первой операции следует в дереве техпроцессов установить курсор на *наименование* ТП и нажать кнопку  на панели инструментов для разработки ТП. После нажатия кнопки появляется окно «Определение вида работ».

В окне «Определение вида работ» в дереве видов работ выбрать и раскрыть, щелкнув по значку «+» или дважды по наименованию, группу *Типовая технологическая операция* (рис. 4.23).

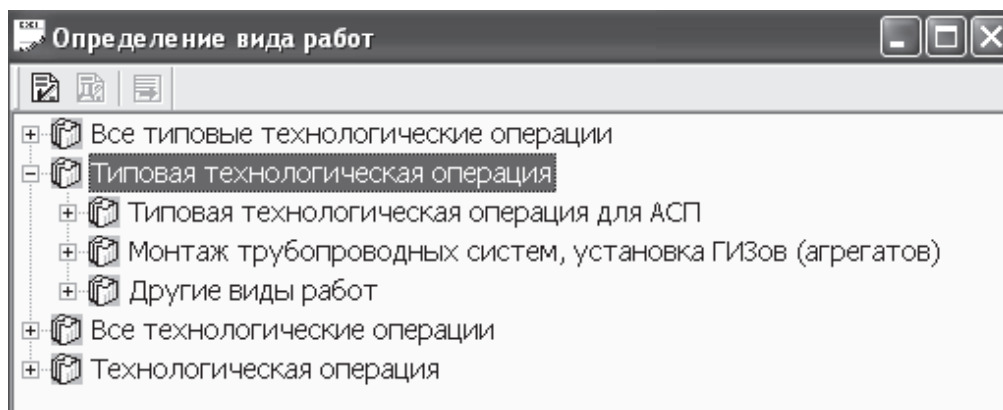


Рис. 4.23. Пример выбора группы

Раскрыть подгруппу *Типовая технологическая операция* и выбрать пункт *Подготовительные работы* (рис. 4.24).

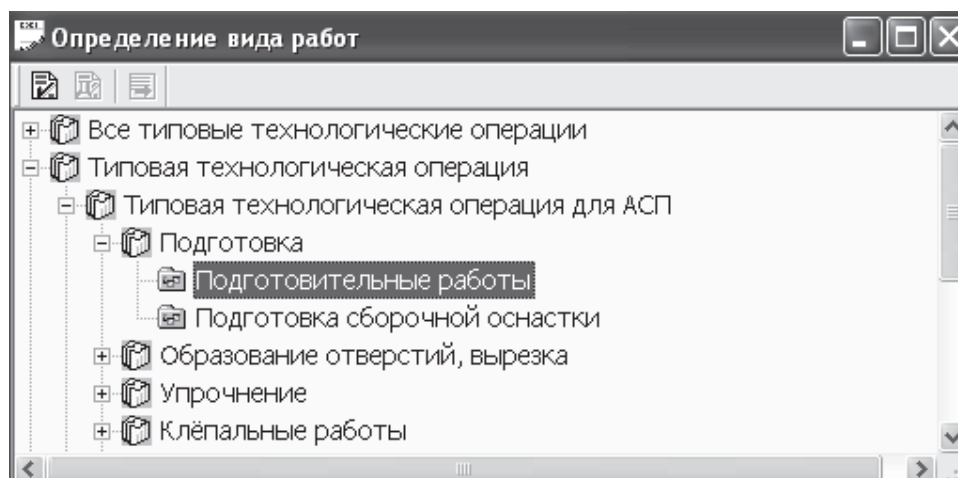


Рис. 4.24. Пример выбора операции


После выбора операции нажать кнопку  **Проектировать операцию рабочего технологического процесса** на панели окна «Определение вида работ» или клавишу **Enter**. Появляется окно уточнения вида работ (рис. 4.25).



Рис. 4.25. Окно уточнения вида работ

В окне уточнения вида работ выбрать пункт *Подготовка согласно СТП 07509416.05.105* (выбранная работа выделяется голубым цветом), появится следующая панель меню (рис. 4.26).

Чтобы снять выделение, следует еще раз щелкнуть курсором по этому пункту.

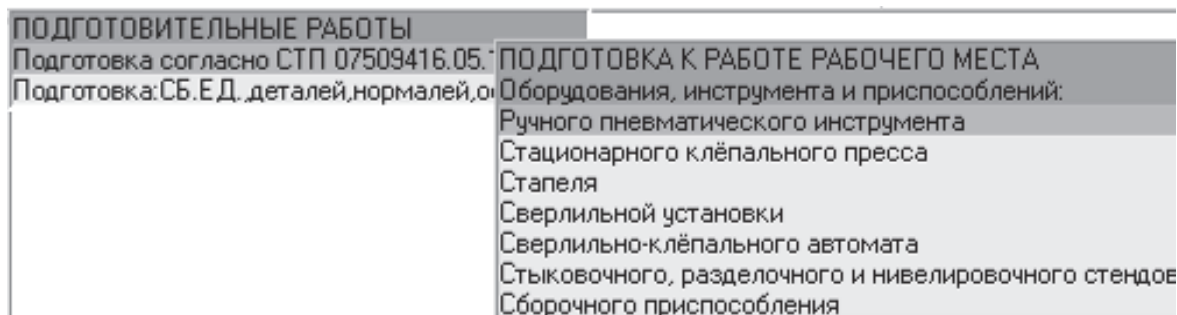


Рис. 4.26. Дополнительное окно уточнения вида работ

Выбрать в панели «Подготовка рабочего места» пункт *Ручного пневматического инструмента* и нажать клавишу **Enter**. Появляются окна для ввода данных (рис. 4.27).

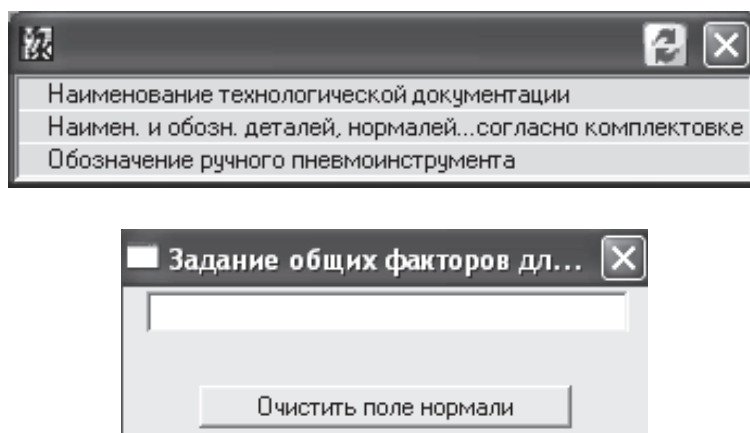


Рис. 4.27. Окна ввода данных



Созданный технологический процесс можно корректировать и редактировать. После создания ТП, используя соответствующие функции системы, приступают к формированию эскизов, выполняют нормирование и формирование технологического паспорта. Затем выполняются формирование комплекта документации в формате MS Excel и вывод на бумажный носитель.

### **Контрольные вопросы**

- 1) Назовите цель и сущность типизации технологических процессов.
- 2) Назовите цель и сущность групповой обработки.
- 3) Опишите последовательность разработки технологического процесса изготовления детали.
- 4) Опишите последовательность разработки технологического процесса изготовления сборочной единицы.
- 5) Перечислите методы автоматизированного проектирования технологических процессов.
- 6) В чем заключается сущность метода адресации?
- 7) В чем заключается сущность метода синтеза?
- 8) Назовите структуру систем автоматизированного проектирования.
- 9) Дайте определение «базы данных».
- 10) Назовите виды баз данных.
- 11) Опишите структуру экспертных систем.
- 12) Объясните структуру системы автоматизации технологического проектирования ТехноПро.
- 13) Каково назначение системы автоматизированного проектирования технологических процессов агрегатно-сборочного производства ТеМП?
- 14) Какие информационные модели используются в системе ТеМП?

## **5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ**

### **5.1. Классификация технологической оснастки**

Существуют следующие виды технологической оснастки:

- станочная;
- заготовительно-штамповочная;
- сборочная;
- для монтажа и испытаний бортовых систем самолета;
- контрольная.

*Станочная оснастка* (приспособления) используется для изготовления деталей на металлорежущем оборудовании и подразделяется на следующие группы:

- универсальные безналадочные приспособления (УБП);
- универсально-наладочные приспособления (УНП);
- специализированные наладочные приспособления (СНП);
- сборно-разборные приспособления (СРП);
- неразборные специальные приспособления (НСП);
- универсально-сборные приспособления (УСП).

*Заготовительно-штамповочная оснастка*, предназначенная для изготовления деталей из листов, профилей и труб, подразделяется:

- на плоскую оснастку, рабочий контур которой образован линейчатыми поверхностями: формблоки, оправки и т. п.;
- объемную оснастку, рабочий контур которой образован криволинейными поверхностями одинарной или двойной кривизны: обтяжные пуансоны, пресс-формы, штампы, контрольно-доводочные болванки и т. п.

Для сборки узлов, секций, отсеков и агрегатов планера самолета используется сборочная оснастка.

*Сборочная оснастка* (приспособления) – устройства, обеспечивающие правильное взаимное положение, фиксацию, соединение и контроль деталей и подборок в соответствии с техническими требованиями. Кроме того, сборочное приспособление должно обеспечивать возможность закладки входящих деталей и узлов, выемку готового изделия, безопасные и комфортные условия труда сборщиков.

Сборочные приспособления являются многофункциональными, достаточно сложными в проектировании, изготовлении и монтаже техническими устройствами. Они включают в себя множество деталей и узлов, к точности изготовления и установки которых предъявляются не менее, а зачастую и более жесткие требования, чем к самому изделию.

Сборочные приспособления могут быть *специальными* – служат для сборки узлов и агрегатов только одного типа, и *специализированными* – позволяют собирать группу сборочных единиц, объединенных по конструктивным и технологическим признакам.

При сборке конструкций по отверстиям используют сборочные приспособления упрощенной конструкции.

Конструктивное и технологическое исполнения, требования к точности изготовления и установки элементов сборочных приспособлений определяются, прежде всего, их функциональным назначением.

*Оснастка для монтажа и испытаний* применяется при выполнении работ по монтажу бортовых системы самолета и проведении испытаний элементов бортовых систем на всех этапах производства летательных аппаратов.

*Контрольная оснастка* служит для проверки изготовления деталей, например, после выполнения операций штамповки, для контроля внешних контуров сборочной единицы после выполнения сборочных операций. К контрольной оснастке также относятся средства увязки, которые используются при выполнении работ по согласованию форм и размеров элементов конструкции планера и технологической оснастки, а также при монтаже и контроле сборочных приспособлений.

## **5.2. Методики проектирования технологической оснастки**

Исходными материалами для проектирования технологической оснастки являются:

1) электронные модели деталей (ЭМД), ТЭМ деталей, чертежи деталей, выполненные на электронных или бумажных носителях;

2) ТЗ на проектирование технологической оснастки, которое должно содержать следующую информацию:

- обозначение чертежа, ЭМД;
- требования к детали;
- наименование технологической оснастки;
- назначение технологической оснастки;
- схему установки деталей;
- эскиз технологической оснастки;
- сведения об аналогичной оснастке (в случае наличия);
- условия поставки деталей на последующие операции;
- такелажные узлы (в случае необходимости);
- дополнительные требования;

3) база данных готовых конструкторских решений (аналоги, типовые решения);

4) нормативно-справочная база по материалам, оборудованию, стандартным элементам технологической оснастки, крепежу и т. д.

Для изготовления деталей используется станочная и заготовительно-штамповочная оснастка.

*Проектирование станочных приспособлений* осуществляется в следующей последовательности:

1) анализ исходных данных и формулирование назначения приспособления;

2) выбор группы;

3) уточнение схемы базирования заготовки;

4) определение направления действия сил и моментов резания при обработке, выявление других внешних сил;

5) определение вида фиксаторов;

6) выбор формы рабочей поверхности опор;

- 7) выбор места и количества точек приложения зажимных усилий;
- 8) определение вида зажимов;
- 9) выбор формы рабочей поверхности зажима;
- 10) составление расчетной схемы и уравнения для расчета зажимного усилия;
- 11) расчет приводов зажимных устройств;
- 12) разработка компоновки станочного приспособления;
- 13) расчет точности сконструированного станочного приспособления;
- 14) расчет элементов станочного приспособления на жесткость и прочность;
- 15) оформление чертежей;
- 16) оформление рабочей документации.

*Проектирование штампов* выполняется в следующей последовательности:

- 1) конструктивно-технологический анализ детали;
- 2) расчет размеров заготовки (полосы);
- 3) выбор рациональной схемы раскроя листа на полосы;
- 4) выбор технологической схемы штамповки и схемы штампа;
- 5) расчет энергосиловых параметров штамповки и центра давления штампа;
- 6) проектирование рабочей зоны штампа;
- 7) проектирование пакета;
- 8) проектирование блока;
- 9) выбор прессы;
- 10) проектирование элементов штампа: пуансонов, матриц, системы фиксации и др.;
- 11) определение исполнительных размеров пуансонов и матриц, допусков и посадок в сопрягаемых деталях штампа;
- 12) формирование чертежей (сборочного и рабочих чертежей деталей блока и деталей пакета);
- 13) формирование спецификаций;
- 14) определение последовательности изготовления и сборки штампа;
- 15) оформление рабочей документации.

*Проектирование формообразующей оснастки* (пуансонов) выполняется в следующей последовательности:

- 1) загрузка параметрических данных;
- 2) разметка осей и установочных отверстий;
- 3) построение верхнего формообразующего (рабочего) контура оснастки;
- 4) построение нижнего контура оснастки;
- 5) построение трехмерной модели оснастки;
- 6) оформление документации.

Исходными документами для проектирования сборочной оснастки являются:

1) чертежи под сборки или электронная модель сборочной единицы (ЭМСЕ), ТЭМ СЕ, ТУ на сборку, определяющие форму и размеры под сборки, ее структуру, виды и конструктивное исполнение соединений, требования к точности и взаимозаменяемости контуров, реализуемых в данной сборочной оснастке;

2) технологический процесс сборки, определяющий состав и последовательность выполнения операций по установке, соединению и выемке под сборки, данные о способах и приемах установки и фиксации сборочной единицы и деталей, средствах выполнения соединений, условия поставки деталей на сборку;

3) нормативно-справочная документация, содержащая информацию о типовых компоновках и нормализованных деталях и узлах сборочной оснастки (ОСТ, ГОСТ, СТП, РТМ, ПИ);

4) списки нормализованных деталей и узлов сборочной оснастки, имеющихся в распоряжении предприятия-изготовителя.

На основании исходных документов конструкторы совместно с технологами разрабатывают ТУ на проектирование сборочной оснастки, в которых указываются:

- основные сборочные базы и фиксируемые контуры собираемой сборочной единицы, контуры, определяющие сопряжения со смежными сборочными единицами;

- степень точности сборки по обводам, базовым, сопрягаемым и другим элементам;

- положение сборочной единицы в приспособлении;

- средства увязки и контроля, применяемые при изготовлении и монтаже сборочной оснастки;

- необходимые средства механизации операций техпроцесса сборки;

- направления и средства закладки деталей, узлов и выема сборочной единицы из приспособления;

- необходимая механизация подвижных элементов сборочной оснастки (рам, плит, рубильников);

- необходимая вспомогательная оснастка (стремянки, помосты, лесенки и т. д.);

- требования к подводке, местам установки и количеству точек пневмо-, гидро-, электропитания.

*Проектирование сборочных приспособлений* осуществляется в следующей последовательности:

1) анализ исходных данных (ТЗ на проектирование, чертежи СЕ или ЭМСЕ, спецификации, технические условия на сборку, объем выпуска, последовательность сборки);



- 2) выбор основных баз сборочной оснастки;
- 3) выбор расположения и количества фиксаторов;
- 4) эскизная проработка фиксаторов;
- 5) разработка схем увязки;
- 6) выбор системы координат сборочной оснастки и оптимального положения собираемой сборочной единицы в пространстве;
- 7) расчет параметров точности при выбранных способе базирования и схеме увязки;
- 8) выбор и разработка конструктивной схемы сборочного приспособления;
- 9) разработка силовой схемы, расчет на жесткость и прочность элементов конструкции сборочного приспособления;
- 10) компоновка конструкции сборочного приспособления с использованием параметризованных моделей типовых и нормализованных элементов;
- 11) конструирование элементов приспособления, отсутствующих в базе данных;
- 12) разработка технологического процесса монтажа сборочного приспособления, исходя из выбранных методов и средств контроля;
- 13) выбор методов и средств контроля сборочного приспособления;
- 14) оформление рабочей документации.

### **5.3. Применение автоматизированных систем при проектировании технологической оснастки**

При проектировании технологической оснастки используются как отдельные универсальные САД-системы нижнего уровня (AutoCAD), среднего уровня (T-FLEX CAD, КОМПАС), САД-модули или специальные модули систем высокого уровня (UNIGRAPHICS, Creo), так и специальные системы, например T-FLEX / Штампы, T-FLEX / Пресс-формы, СПРУТ-Штамп, КОМПАС-Штамп и т. д.

Для расчетов на жесткость и прочность используются системы для конечно-элементного анализа (CAE-системы), например MSC NASTRAN, T-FLEX Анализ и др.

При проектировании технологической оснастки для процессов холодной листовой штамповки (ХЛШ) в авиастроении используется система T-FLEX / Штампы, входящая в программный комплекс T-FLEX [24].

Объектом проектирования являются разделительные, формообразующие и комбинированные штампы ХЛШ для получения деталей произвольной конфигурации из различных материалов толщиной до 10 мм и габаритами до 600 мм.

Кроме конструкторских задач в системе T-FLEX / Штампы решаются и технологические вопросы, влияющие на проектирование штампов (проверка штампуемой детали на технологичность, получение оптимального однорядного и двухрядного раскроя, расчет разверткигнутой детали, расчет количества переходов и размеров полуфабрикатов при вытяжке осесимметричных деталей и др.). Система позволяет выполнять расчетную и графическую части при проектировании штампа, а для автоматической генерации и оформления конструкторской документации используют параметрические возможности системы T-FLEX CAD.

Исходными данными для проектирования штампа в системе T-FLEX / Штампы являются:

- электронный чертеж штампуемой детали;
- вид заготовки детали;
- тип оборудования;
- сведения для заполнения основной надписи чертежа.

Процесс проектирования штампов в системе T-FLEX / Штампы состоит из выполнения следующих этапов:

- создания/открытия проекта;
- выбора прототипа объекта проектирования;
- ввода исходных данных;
- выполнения расчетов;
- оформления комплекта конструкторской документации.

В процессе проектирования выполняются:

- формирование операционного эскиза штампуемой детали;
- генерация схемы раскроя и рабочей зоны штампа;
- расчет исполнительных размеров рабочих деталей штампа;
- генерация рабочих и посадочных мест контуров деталей штампа;
- расчет центра давления, усилий штамповки;
- выбор прессового оборудования;
- конструирование рабочих деталей штампа;
- выбор и расчет блока штампа (плиты, колонки, втулки);
- конструирование деталей и узлов общего назначения (хвостовик, упоры, прижимы и т. д.);
- подбор стандартного крепежа и его расстановка.

Программа T-FLEX / Штампы предусматривает возможность реализации трех вариантов проектирования того или иного типа штампа.

*Первый вариант* использует прототип или «базовую модель», основанную на известных разработках. Прототип включает в себя различные варианты компоновки, присущие данной конструкции штампа. Такая конструкция штампа легко привязывается пользователем к особенностям конкретного производства как по конфигурации деталей штампа, так и по их

составу, используя стандартные и нестандартные решения (например, форма плит блока штампа, форма крепления пуансонов и др.).

Процесс проектирования штампа по первому варианту задается сценарием, в узловых точках которого пользователь может просматривать и редактировать по своему усмотрению предлагаемые системой варианты решений как в символьной, так и в графической формах.

Такой подход позволяет:

- сократить в 2 – 3 раза трудоемкость проектных расчетов, конструирования и выпуска чертежей штампов;
- повысить качество проектных работ за счет сокращения ошибок проектирования;
- сократить на порядок сроки подготовки технической документации.

*Второй вариант* позволяет конструктору самому формировать оригинальную структуру проектируемого штампа из формализованных в компьютерном виде деталей и узлов. Эти детали и узлы присутствуют в библиотеке прототипов как самостоятельные изделия, имеющие все необходимые для их проектирования и сборки расчеты, чертежи и фрагменты. База изделий состоит из более 100 объектов и открыта для пополнения специалистами предприятия.

Для проектирования по сформированной оригинальной структуре штампа от пользователя требуется в процессе проектирования согласовать между собой входные и выходные параметры выбранных деталей и узлов. Эта работа не требует специальных навыков по программированию и может выполняться специалистом предприятия за 2 – 5 ч. После завершения проектирования такая оригинальная конструкция становится типовой и в дальнейшем может использоваться по первому варианту проектирования.

*Третий вариант* позволяет в режиме «свободного черчения» в системе T-FLEX CAD создавать чертежи оригинальных конструкций штампов и чертежи отдельных деталей и узлов, которые в дальнейшем можно использовать при проектировании штампов ХЛШ по первому и второму вариантам.

Результатом работы конструктора с системой T-FLEX / Штампы является полный комплект конструкторской документации, включающий: эскиз штампуемой детали, карту раскроя, сборочные чертежи и спецификации к ним, чертежи деталей (в том числе и стандартных) штампа. Следует отметить, что контуры рабочих деталей штампа с исполнительными и посадочными размерами (матрица, пуансоны, съемник, пуансонодержатель и т. д.) генерируются автоматически и в виде фрагментов проявляются на требуемых чертежах в рассчитанных точках привязки. Окончательное оформление чертежей, если оно требуется, сводится для конструктора к редактированию расположения в поле чертежа видов, размерных линий, знаков шероховатости, надписей и т. д.

На рис. 5.1 представлено окно для выбора заготовки при проектировании в системе T-FLEX / Штампы.

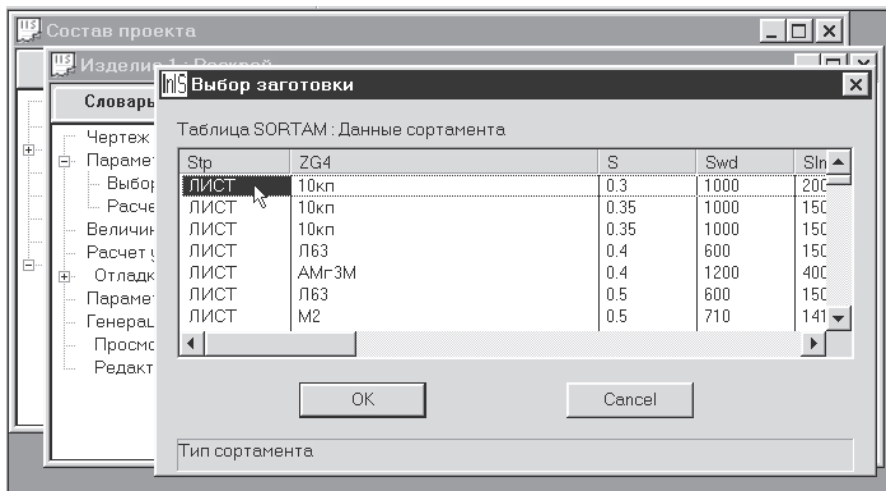


Рис. 5.1. Пример выбора заготовки

После проектирования элементов детали штампа в прикладной системе T-FLEX / Штампы их чертежи выполняют в системе T-FLEX CAD 3D (рис. 5.2).

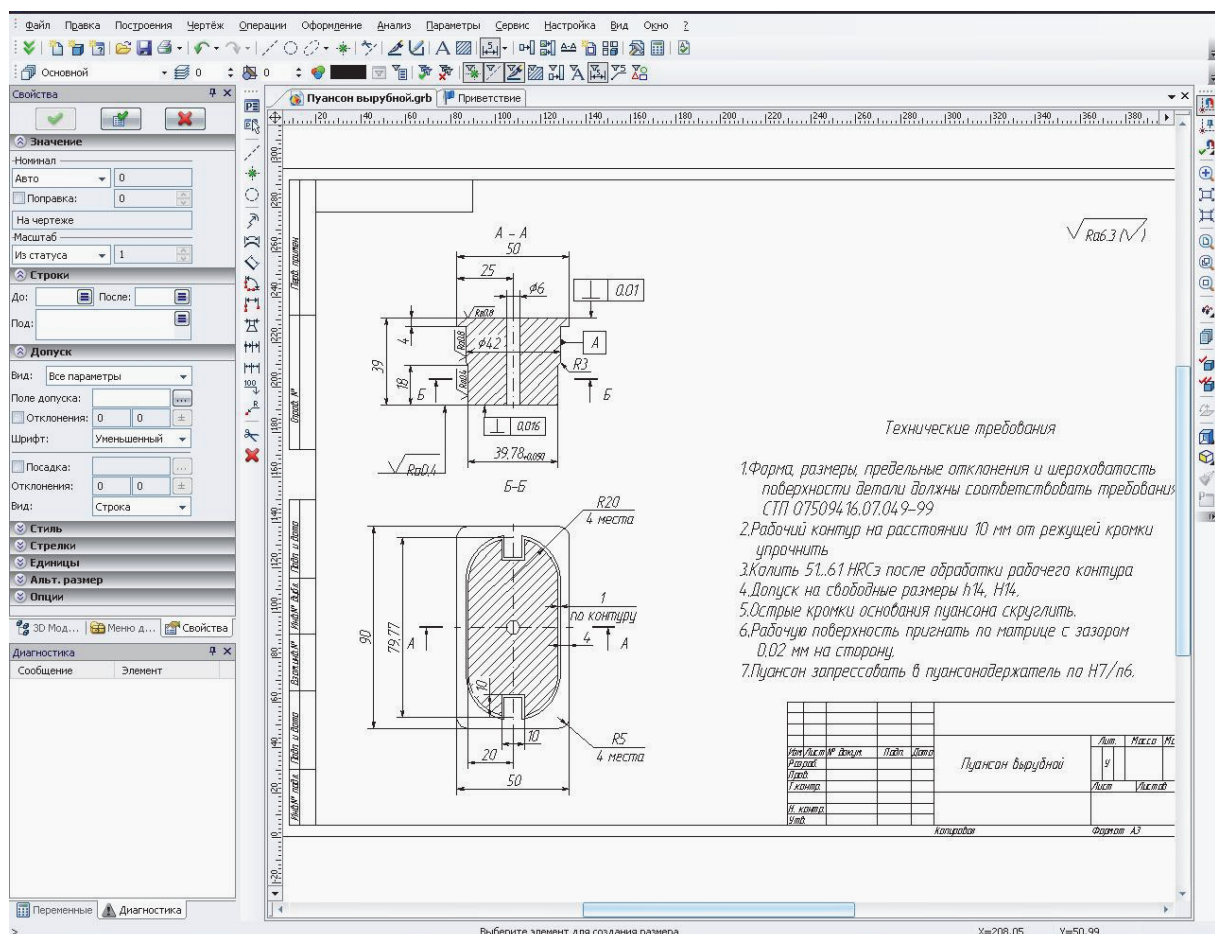


Рис. 5.2. Пример детализировочного чертежа

При проектировании технологической оснастки для изготовления деталей методом формования эластичной средой используется САПР-ПФО (Система автоматизированного проектирования формообразующей оснастки), разработанная специалистами КнАГТУ и ОАО «КнААПО» [23].

САПР-ПФО в зависимости от выполняемых функций делится на четыре подсистемы: обработки и контроля исходной информации, хранения информации, автоматизированного проектирования формообразующей оснастки, формирования и вывода результатов.

В первой версии САПР ПФО исходной информации для проектирования использовались данные электронных шаблонов контуров и разверток деталей. На основе этих данных выполнялось построение электронного шаблона внутреннего контура с учетом пружинения детали после изготовления. На следующем этапе выполнялось построение верхнего контура формообразующей оснастки, затем нижнего контура, и после этого выполнялось построение трехмерной параметрической модели оснастки. После этого параметрическая модель оснастки передавалась в систему T-FLEX CAD 3D. Параметрическая модель позволяет быстрее выполнить проектирование оснастки для формования эластичной средой группы однотипных деталей за счет изменения параметров электронной модели.

Результаты проектирования в системе САПР-ПФО в виде параметрической модели и трехмерной оснастки представлены на рис. 5.3.

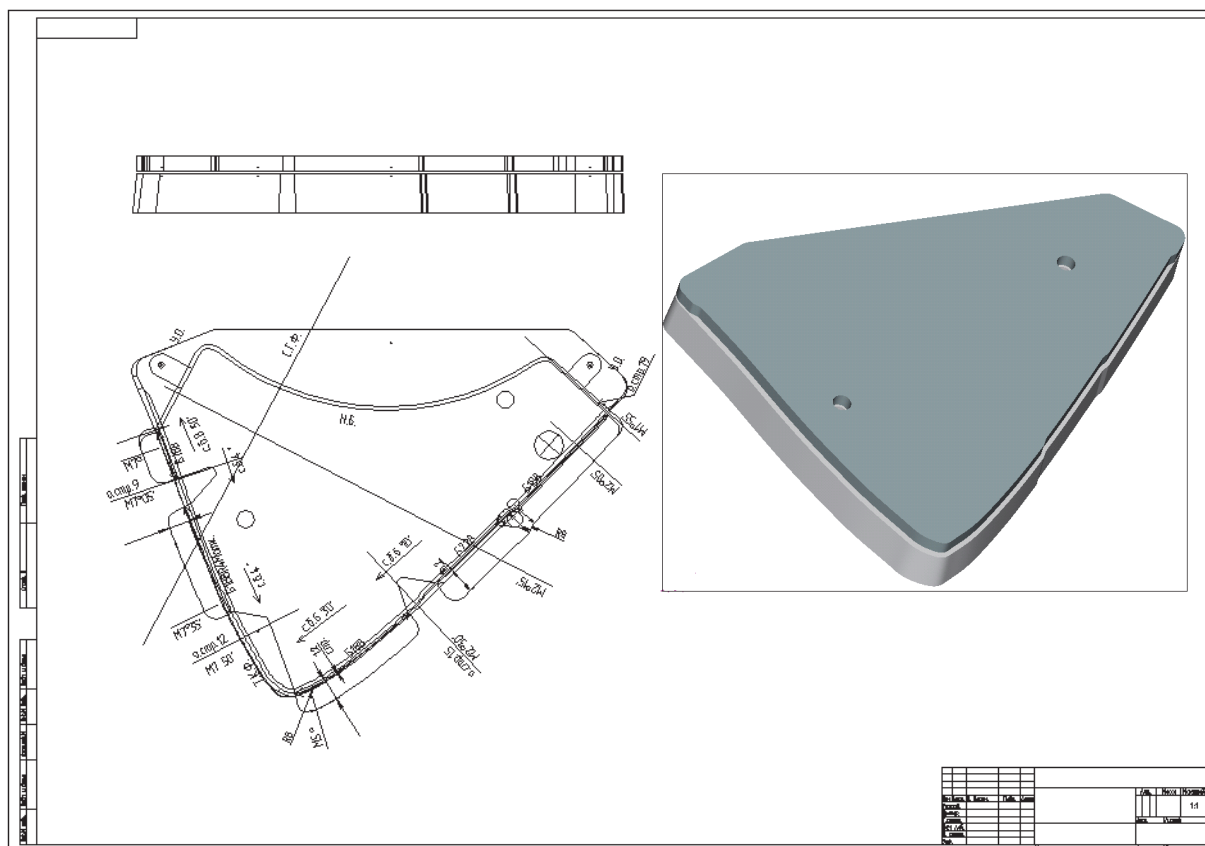


Рис. 5.3. Параметрический чертеж и трехмерная модель оснастки

В настоящее время САПР ПФО позволяет работать с CAD-модулем системы UNIGRAPHICS, и проектирование начинается с анализа трехмерной модели детали.

Исходная электронная трехмерная модель детали рассекается заданным количеством сечений, перпендикулярных рабочим контурам детали. В каждом сечении анализируются конфигурация детали, радиусы скруглений и малки, а также другие параметры. На основе полученных в процессе анализа данных выполняется построение трехмерной параметризованной модели оснастки с учетом пружинения. После задания параметров конкретной детали выполняется генерирование трехмерной модели оснастки. Затем полученная электронная модель оснастки передается в САМ-модуль для разработки УП.

При проектировании сборочной, монтажной и других видов технологической оснастки широко используются универсальные CAD-системы или модули интегрированных систем, предназначенные для проектирования и конструирования изделий.

На рис. 5.4 представлен пример трехмерной модели сборочного приспособления, разработанной в системе T-FLEX CAD 3D.

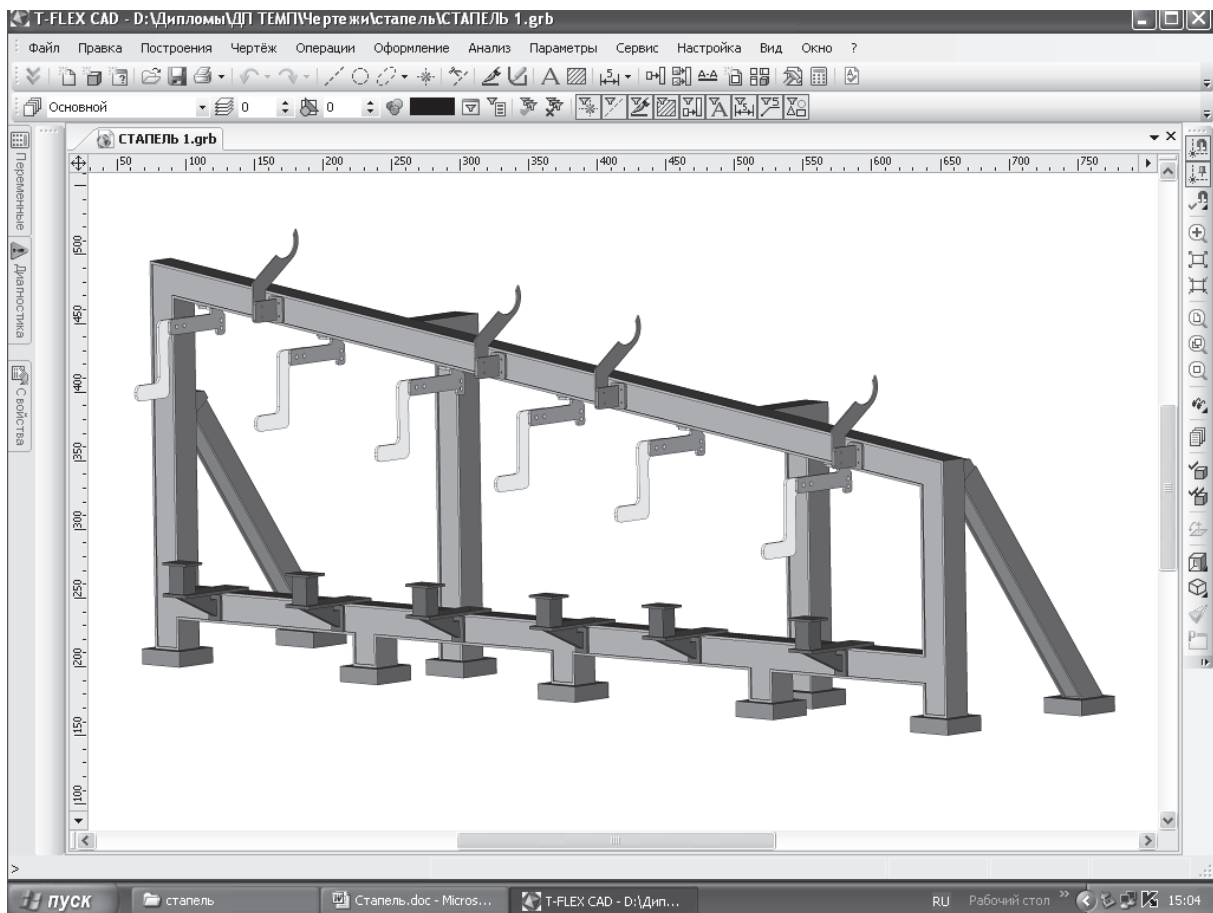


Рис. 5.4. Трехмерная модель сборочного приспособления

Недостатком применения универсальных САД-систем при проектировании оснастки является то, что в базах данных системы есть только готовые стандартные элементы конструкций общего назначения, например болты, а библиотек специализированных элементов, например типовых элементов фиксации, несущей конструкции и других элементов сборочных приспособлений, не имеется. Поэтому данного вида элементы конструктору приходится разрабатывать самостоятельно, что приводит к увеличению времени проектирования оснастки.

Вследствие этого разработка прикладных САПР проектирования сборочных приспособлений для сборки элементов конструкции планера летательного аппарата является актуальной задачей.

Программный модуль для проектирования стапельно-сборочной оснастки входит в состав интегрированной системы автоматизированного проектирования и подготовки производства АСК/ТПП КРЕДО, разработанной «НИЦ АСК» [18, 23]. Модуль предназначен для проектирования приспособлений узловой и агрегатной сборки.

В качестве основного метода проектирования используется компоновка конструкции стапельно-сборочной оснастки с использованием параметризованных моделей типовых и нормализованных элементов стапельной оснастки.

В ИрГТУ разрабатывается САПР проектирования СТО сборочного производства с использованием экспертных систем [4].

### **Контрольные вопросы**

- 1) *Каково назначение и виды станочной и заготовительно-штамповочной оснастки?*
- 2) *Каково назначение и виды сборочной оснастки?*
- 3) *Назовите исходные материалы для проектирования технологической оснастки.*
- 4) *Опишите методику проектирования станочной оснастки.*
- 5) *Опишите методику проектирования штамповой оснастки.*
- 6) *В чем заключается методика проектирования сборочной оснастки?*
- 7) *Какие автоматизированные системы используются при проектировании технологической оснастки?*
- 8) *Перечислите исходные данные для проектирования в системе T-FLEX / Штампы.*
- 9) *Назовите этапы проектирования штампа в системе T-FLEX / Штампы.*
- 10) *Объясните назначение системы и опишите структуру САПР ПФО.*
- 11) *В чем преимущества использования параметрической модели при проектировании технологической оснастки?*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качество и сроки выполнения технологического проектирования являются одними из важных факторов выпуска конкурентоспособных изделий авиационной техники.

Повышение эффективности технологического проектирования обеспечивается применением систем автоматизированного проектирования при решении технологических задач.

В настоящее время значительные результаты получены в области разработки систем автоматизированного программирования для создания управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ.

Прикладные системы и модули проектирования и конструирования изделий в составе интегрированных комплексов позволяют решать отдельные задачи обеспечения технологичности, но в целом вопросы автоматизированной оценки технологичности конструкции изделий решены в недостаточной степени и работы в этом направлении продолжаются.

Современные автоматизированные системы для проектирования технологических процессов пока еще имеют ограниченные возможности. С их помощью можно проектировать маршрутные и операционные технологии изготовления деталей и сборочных единиц, выполнять нормирование работ, расчет режимов обработки и количества вспомогательных материалов, но имеются нерешенные вопросы автоматизации работ по разработке схем базирования, расчету детальным и сборочным технологическим размерным цепей и др.

При проектировании технологической оснастки используют как системы проектирования и конструирования изделий, так и прикладные программные системы.

Современный специалист в области авиастроения должен иметь теоретические знания по автоматизации работ по технологическому проектированию, а также владеть практическими навыками работы в системах автоматизированного проектирования технологических процессов и других системах, предназначенных для решения технологических задач.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учеб. для вузов / Н. М. Капустин [и др.] ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. шк., 2004. – 415 с.
2. Адамов, А. П. Разработка адаптивной автоматизированной системы прогнозирования и управления процессами обработки на технологичность изделий на этапах проектирования, подготовки производства и серийного выпуска [Электронный ресурс]: / А. П. Адамов // Режим доступа : [http : //www.stavintech.ru/proposals/65.html](http://www.stavintech.ru/proposals/65.html). – Загл. с экрана.
3. Ахатов, Р. Х. Методика проектирования изделия авиационной техники с обеспечением заданных критериев технологичности / Р. Х. Ахатов, А. С. Говорков // Высокоэффективные технологии проектирования, конструкторско-технологической подготовки и изготовления самолетов : материалы Всероссийского с международным участием научно-практического семинара (Иркутск, 9-11 ноября 2011 г.) ; под общ. ред. А. Е. Пашкова. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2011. – С. 10-16.
4. Ахатов, Р. Х. Система автоматизированного проектирования сборочной оснастки с использованием экспертных систем / Р. Х. Ахатов, П. Е. Чимитов // Высокоэффективные технологии проектирования, конструкторско-технологической подготовки и изготовления самолетов : материалы Всероссийского с международным участием научно-практического семинара (Иркутск, 9-11 ноября 2011 г.) ; под общ. ред. А. Е. Пашкова. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2011. – С. 137-142.
5. Бабушкин, А. И. Моделирование и оптимизация сборки летательных аппаратов / А. И. Бабушкин. – М. : Машиностроение, 1990. – 240 с.
6. Балашева, Ю. В. Комплексная оценка технологичности деталей типа «вал» квалитетными методами : дис. ... канд. техн. наук / Юлия Вячеславовна Балашева. – Тула, 2007. – 146 с.
7. Быков, А. ADEM-VX: предварительный анализ технологичности механообрабатываемых деталей / А. Быков // САПР и графика. – 2006. – № 11. – С. 58-61.
8. ГОСТ 3.1102-81. Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов. – Введ. 1981.31.12. – М. : Стандартинформ, 2006. – 16 с.
9. ГОСТ 3.1109-82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. – Введ. 1983.01.01. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 10 с.
10. ГОСТ Р 50995.3.1-96. Технологическая подготовка производства. – Введ. 1997.07.01. – М. : Изд-во стандартов, 1997. – 16 с.
11. ГОСТ 20999-83. Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации. –

Введ. 1983.04.28. Взамен ГОСТ 20999-73. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 25 с.

12. P50-54-93-88. Классификация, разработка и применение технологических процессов. Рекомендации. – Утв. 1988.04.07. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 14 с.

13. Гжиров, Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ : справочник / Р. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 336 с.

14. Дерябин, А. Л. Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ : учеб. пособие для техникумов / А. Л. Дерябин. – М. : Машиностроение, 1984. – 224 с.

15. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия / В. В. Бакаев [и др.] ; под ред. В. В. Бакаева. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 624 с.

16. Капустин, Н. М. Комплексная автоматизация в машиностроении : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, Н. П. Дьяконова ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 368 с.

17. Кондаков, А. И. САПР технологических процессов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. И. Кондаков. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 272 с.

18. Латышев, П. Н. Каталог САПР. Программы и производители / П. Н. Латышев. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 608 с.

19. Ли, К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. – СПб. : Питер, 2004. – 560 с.

20. Новикова, М. В. Оценка уровня технологичности машиностроительной детали на ранних этапах подготовки производства : дис. ... канд. техн. наук / Мария Владимировна Новикова. – Тула, 2006. – 127 с.

21. Машиностроение : энциклопедия в 40 т. Т. III-2: Раздел III Технология производства машин. Т. 2: Технология заготовительных производств / гл. ред. К. В. Фролов, ред.-сост. В. Ф. Мануйлов – М. : Машиностроение, 1996. – 735 с.

22. Попов, М. Е. Методы автоматизированного совершенствования технологичности конструкций изделий в интегрированных САПР / М. Е. Попов, А. М. Попов // Вестник машиностроения. – 2003. – № 10. – С. 48-53.

23. Приоритеты авиационных технологий. В 2 кн. Кн. 1 / науч. ред. А. Г. Братухин. – М. : Изд-во МАИ, 2004. – 696 с. (Гл. 1-12).

24. Проектирование штампов листовой штамповки в системе T-FLEX / Штампы / С. Евдокимов, А. Краснов, В. Пичугин, А. Рыбаков // САПР и графика. – 2002. – № 3. – С. 58-62.

25. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С. П. Митрофанов [и др.] ; под общ. ред. С. П. Митрофанова. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1987. – 352 с.
26. Теоретические основы авиа- и ракетостроения (в конспектах лекций) : учеб. пособие / А. С. Чумадин [и др.]. – М. : Дрофа, 2005. – 784 с.
27. Технологичность конструкции изделия: справочник / Ю. Д. Амиров [и др.] ; под ред. Ю. Д. Амирова. – М. : Машиностроение, 1990. – 768 с.
28. Технология сборки самолетов : учебник для студентов авиационных специальностей вузов / В. И. Ершов, В. В. Павлов, М. Ф. Каширин, В. С. Хухорев. – М. : Машиностроение, 1986. – 456 с.
29. ТехноПро. Система автоматизации технологического проектирования. Руководство пользователя. – М. : АО «Топ Системы», 2000. – 232 с.
30. Саак, А. Э. Информационные технологии управления : учебник для вузов / А. Э. Саак, Е. В. Пахомов, В. Н. Тюшняков. – СПб. : Питер, 2005. – 320 с.
31. Самсонов, О. С. Автоматизированное проектирование технологии сборочно-монтажных работ в системе «ТеМП» / О. С. Самсонов // Технология машиностроения. – 2006. – № 8. – С. 44-48.
32. Самсонов, О. С. Моделирование процессов конструкторско-технологического проектирования сборки летательных аппаратов / О. С. Самсонов // Технология машиностроения. – 2007. – № 9. – С. 18-26.
33. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / А. И. Пекарш [и др.]. – М. : Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
34. Уткин, В. Б. Информационные системы в экономике : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В. Б. Уткин, К. В. Балдин. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 288 с.
35. Феоктистов, С. И. Автоматизация проектирования технологических процессов и оснастки заготовительно-штамповочного производства авиационной промышленности / С. И. Феоктистов. – Владивосток : Дальнаука, 2001. – 183 с.
36. Фуфаев, Э. В. Базы данных : учеб. пособие для студ. сред. проф. образования / Э. В. Фуфаев, Д. Э. Фуфаев. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 320 с.
37. Яблочников, Е. И. Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении : учеб. пособие / Е. И. Яблочников. – СПб. : СПбГИТМО (ТУ), 2002. – 92 с.
38. Ярковец, А. И. Основы механизации и автоматизации технологических процессов в самолетостроении : учебник для студентов авиационных специальностей вузов / А. И. Ярковец. – М. : Машиностроение, 1991. – 224 с.

*Учебное издание*

**Вялов Александр Вениаминович**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ В АВИАСТРОЕНИИ**

Учебное пособие

Научный редактор – кандидат технических наук, доцент С. В. Белых

Редактор Е. О. Колесникова

Подписано в печать 22.04.2014

Формат 60 × 84 1/16. Бумага 80 г/м<sup>2</sup>. Ризограф FR3950EP-α  
Усл. печ. л. 10,2. Уч.-изд. л. 9,8. Тираж 100 экз. Заказ 26230.

Редакционно-издательский отдел  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Полиграфическая лаборатория  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.