

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЁВА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

В.К. Моисеев

Информационные технологии в производстве
аэрокосмической техники

Электронное учебное пособие

САМАРА

2012

УДК 629.7

М 748

Автор: **Моисеев Виктор Кузьмич**

Моисеев, В. К. Информационные технологии в производстве аэрокосмической техники [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / В. К. Моисеев; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королёва (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (2.07 МБ). – Самара, 2012. – 1 эл. опт. Диск (CD-ROM).

Даются сведения об информационных технологиях на предприятиях авиа- и ракетостроения. Рассматриваются элементы дискретной математики, на уровне моделей освещаются наиболее применяемые методы машинного проектирования технологий, даётся классификация моделей решения технологических задач.

Приводится информация о бесплазовой увязке размеров элементов конструкций, об измерительных технологиях для поверхностей сложной конфигурации и крупных габаритов, обеспечении взаимозаменяемости за рамками применимости системы допусков и посадок.

Даются общие сведения об ИПИ-технологиях, CAE/CAD/CAM/CAPP – системах, автоматизации разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, аддитивных технологиях (прототипировании).

Учебное пособие предназначено для аспирантов специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов» при изучении дисциплины «Производство аэрокосмической техники на основе современных информационных технологий». Оно полезно также для студентов, обучающихся по профилю данного направления.

Подготовлено на кафедре производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении СГАУ.

© Самарский государственный

аэрокосмический университет, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Автоматизация проектирования технологических процессов.....	9
1.1. Направления развития автоматизации проектирования технологических процессов.....	9
1.2. Специфические элементы математики.....	11
1.3. Методы машинного проектирования техпроцессов.....	19
1.4. Виды моделей при автоматизации проектирования технологических процессов.....	37
1.5. Автоматизация программирования оборудования с ЧПУ.....	50
2. Цифровые технологии в увязке размеров и измерениях.....	52
2.1. Бесплазовая увязка размеров в агрегатно-сборочном производстве.....	52
2.2. Измерительные технологии.....	58
3. Аддитивные технологии.....	61
4. Обзор САПР ТП машиностроения.....	68
4.1. Специализированные САПР техпроцессов.....	70
4.2. Общемашиностроительные САПР ТП.....	78
5. Введение в CALS (ИПИ)-технологии.....	82
Библиографический список.....	89

цифрового проектирования в технологической подготовке производства требует как постоянного переоснащения современными программно-техническими комплексами, оборудованием с ЧПУ, так и средствами контроля, включая бесконтактные и контактные методы оцифровки деталей и узлов. Для авиастроения Национальный институт авиационных технологий (НИАТ) разработал концепцию стратегии развития производства на базе информационных технологий и цифровой подготовки производства как единой проектно-производственной среды (рис. 2, 3, 4 [1]). Согласно этой стратегии дальнейшей перспективой развития цифровых технологий является постепенный переход от 3D-моделей деталей, оснастки и процессов к построению 3D-моделей участков, цехов, производств на основе гибких реконфигурируемых систем.

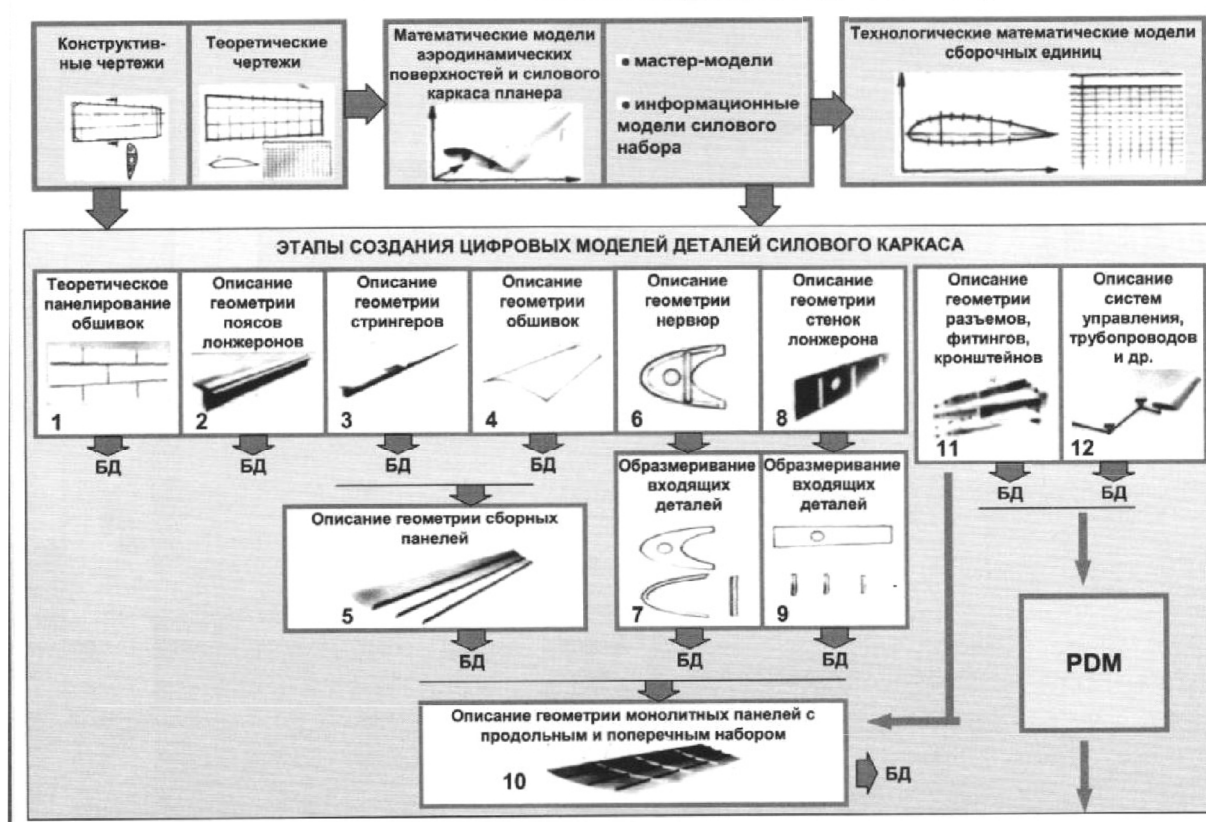


Рис.2. Конструкторско-технологическая подготовка производства на базе мастер-моделей при переходе от плазово-шаблонного метода к цифровому

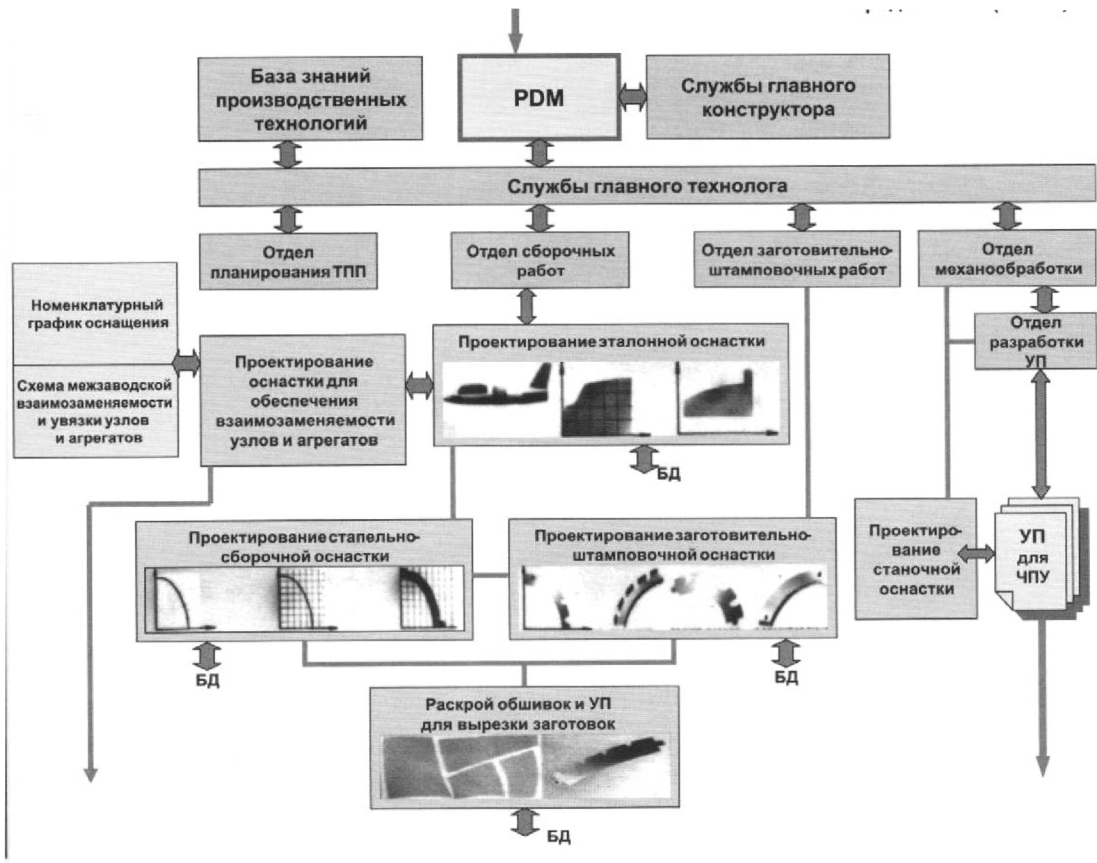


Рис.3. Конструкторско-технологическая подготовка производства в условиях ИПИ-технологий

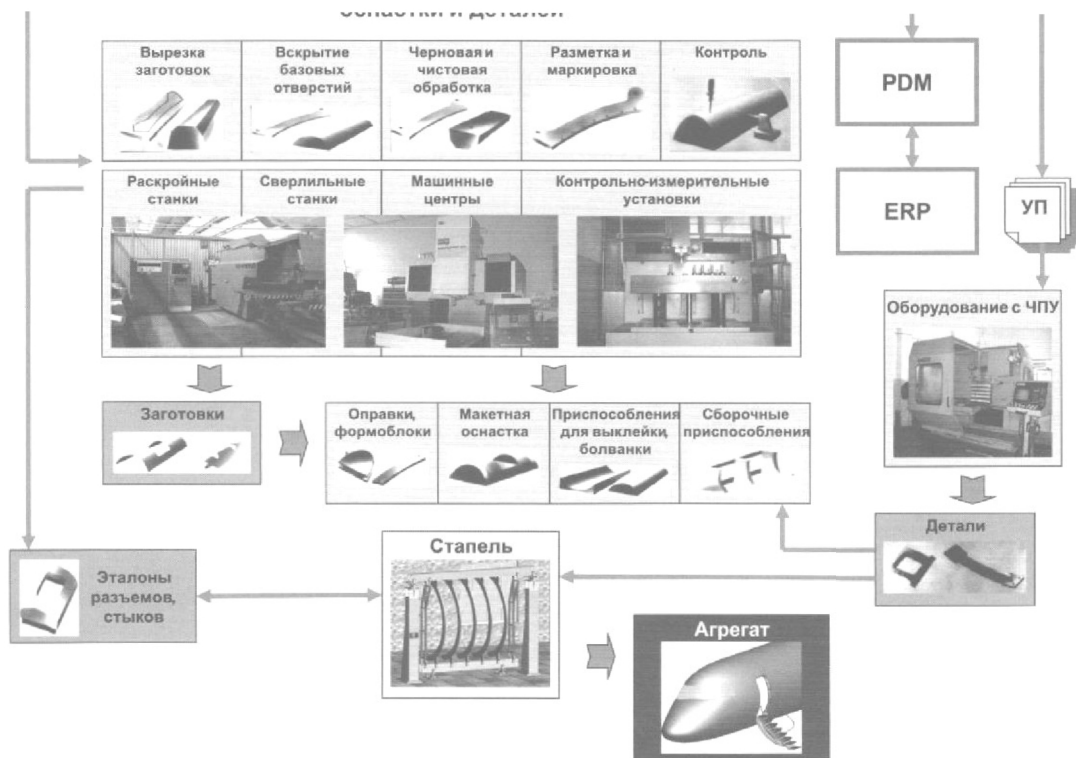


Рис.4. Автоматизированное изготовление комплекта оснастки и деталей

Основой создания летательного аппарата является технология. Технологические процессы, в свою очередь, являются основной составной частью технологической подготовки производства, которая входит в состав технической подготовки производства изделий.

При создании аэрокосмической техники можно выделить следующие этапы разработки и изготовления, которые для самолетов представлены на рисунке 5. В результате исследований конъюнктуры с экономической, военной или иной точки зрения возникает потребность в какой-либо новой технике – идея. Эта идея требует воплощения вначале в конструкции, а для конструирования необходимы проектные работы, которым предшествуют либо сопутствуют фундаментальные и прикладные научно-исследовательские работы. Все это составляет этап конструкторской подготовки производства нового изделия.



Рис.5. Этапы создания самолетов

По мере готовности конструкции она запускается в производство. При этом в современных условиях организации производства принято не ожидать готовности всей конструкции самолета, а начинать изготовление параллельно с продолжением конструкторских

работ. Запуск в производство предусматривает выполнение ряда подготовительных работ – разработки технологических процессов, технологического оснащения, обеспечения инструментом и т.д.

Изготовление первых двух самолетов, которые предназначены для испытаний и сертификации, происходит в условиях индивидуального производства с небольшой степенью механизации и автоматизации технологических процессов. Запуску в серию должны предшествовать работы по отладке технологий, максимальной механизации и автоматизации процессов, освоению нового оборудования и оснащения. Причем эта деятельность, конечно, не прекращается с запуском изделия в серию, а продолжается в течение всего периода этого этапа жизненного цикла.

Таким образом, технологическая подготовка производства начинается, когда первые элементы конструкции приобретают свой окончательный вид на экранах компьютеров, и продолжается в течение всего срока производства изделия.

Технологическая подготовка производства является высокоавтоматизированным процессом и подразумевает на стадии, предшествующей изготовлению специального технологического оснащения и непосредственно элементов изделий, использование разнообразных программных продуктов. Автоматизированная система технологической подготовки производства – АС ТПП – состоит из подсистем (рис. 6):

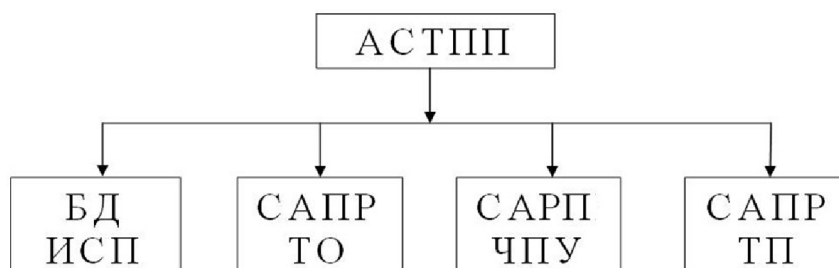


Рис.6. Структура автоматизированной системы технологической подготовки производства

- информационно-поисковой системы (ИПС), являющейся базой данных (БД) для работы остальных подсистем;
- системы автоматизированного проектирования технологического оснащения (САПР ТО), предназначенной для разработки конструкции ступелей, штампов, кондукторов, спецфрез и т.д.;
- системы автоматизированного расчета управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением (САПР ЧПУ), применяющегося при изготовлении как технологического оснащения, так и элементов конструкции изделий;
- системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) для разработки маршрутных технологий, операционных технологий, оформления карт, ведомостей и другой технологической документации.

1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Работы в области автоматизации проектирования технологических процессов (АПП) или, что то же самое, в области разработки систем автоматизации проектирования технологических процессов (САПР ТП) начались вместе с появлением средств вычислительной техники. Целями автоматизации такого проектирования были и остаются разгрузка технолога от рутинной работы по оформлению документов, ускорение разработки технологической документации, повышение качества разработки ТП, повышение престижности работы технолога. В авиааракетостроении, для которого характерна мелкосерийность и частая сменяемость продукции, разработка технологических процессов в большей степени сводится к тиражированию известных технических решений с небольшими корректировками, что вызывается постоянными видоизменениями конструкции изделий, ее совершенствованием.

В условиях ручной разработки техпроцессов технолог занимается зачастую переписыванием имеющейся технологической документации, превращая ее в новую для новой продукции, которая, как правило, является аналогом старой без коренных изменений. Творческая составляющая деятельности технолога появляется лишь изредка при освоении производства новых оригинальных изделий.

С появлением новых компьютерных технологий такая рутинная работа и была автоматизирована в первую очередь. При этом на характер разработок в области автоматизации большое влияние, естественно, оказывало развитие средств вычислительной техники, ее возможности.

1.1. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Укрупненно разработки по автоматизации проектирования технологических процессов можно разделить на несколько основных направлений в хронологическом порядке:

- 1 – автоматизация расчетов и проектных решений отдельных составных частей технологического процесса;
- 2 - автоматизация проектирования технологических процессов на основе классификационных признаков деталей и сборочных единиц;
- 3 – автоматизация проектирования технологических процессов с применением инвариантных автоматизированных систем;
- 4 – автоматизация проектирования технологических процессов в условиях безбумажной технологии (CALS-технологии, или ИПИ-технологии).

Первое направление развивалось в начале появления средств вычислительной техники. Небольшие возможности техники в тот период позволяли решать задачи автоматизации расчетов раскроя листа на заготовки в холодной штамповке, режимов резания, межоперационных и общих припусков на механическую обработку резанием, норм времени в сборке и другие подобные задачи типа «расчет». Эта автоматизация решения отдельных задач

сыграла свою роль, освободив инженеров-технологов от нетворческих операций, несмотря на неудобства эксплуатации техники, вызванные сложностью ввода-вывода информации и другими несовершенствами тогдашних электронно-вычислительных машин.

Второе направление автоматизации проектирования технологических процессов получило развитие на основе использования классификационных признаков объектов производства – деталей и сборочных единиц. Идея такого подхода к проектированию техпроцесса состоит в использовании имеющихся в некоторой базе данных готового, разработанного ранее и сохраненного техпроцесса на похожее изделие. Этот имеющийся техпроцесс отыскивается информационно-поисковой системой на основе сравнения конструкции новой детали (изделия) с конструкцией деталей (изделий), техпроцессы которых хранятся в условно-постоянной памяти. Далее следует превращение найденного прототипа в новый техпроцесс, что может осуществляться либо автоматизировано, либо технологом-оператором путем видоизменения состава или последовательности использования структурных составляющих исходной технологии. Конечно, такой подход применим лишь для типовых конструкций, оригинальные объекты производства подходящих прототипов не имеют, но именно типовые технологические процессы и составляют неприятную рутинную часть деятельности технолога, т.е. этот недостаток не имеет существенного значения. Более существенный недостаток заключается в том, что информационная база, сформированная или накопленная на одном типе изделий, почти не применима для других, она не универсальна, а привязана к определенному классу деталей и сборочных единиц. Таким образом, ее тиражирование, распространение, продажа ограничены весьма узким кругом заинтересованных пользователей.

С этой точки зрения и началось развитие третьего направления – автоматизация проектирования технологических процессов с применением инвариантных автоматизированных систем, не зависящих от типа конструкции изделия. Разработчикам этого направления удалось в значительной мере автоматизировать процесс проектирования технологий только лишь для обработки резанием, другие виды обработки как сравнительно менее распространенные не были охвачены этой процедурой. Разработанные для резания системы не нашли широкого применения и распространения в силу сложности моделирования решения логических задач типа «выбор» в условиях неопределенности исходных данных и многовариантности результатов. Однако за счет снижения автоматизации проектирования до приемлемого уровня путем передачи трудноформализуемых процедур решения задач выбора на откуп технологу-оператору удалось выйти из этого положения. Такие подходы полуавтоматизированного проектирования оказались удобными, а соответствующие разработки программных продуктов нашли достойное распространение.

Сегодняшнее (четвертое) направление развития автоматизации проектирования технологических процессов в условиях CALS (ИПИ)-технологий предусматривает существование информационных моделей объектов производства (деталей, сборочных единиц, изделий) как конструкций, разработанных в какой-либо САД-системе, например, Компас-3D, либо в САД-модуле тяжелой системы типа САТІА. Находясь в едином информационном пространстве с конструкторами изделий, технолог пользуется этой информацией для решения технологических задач в какой-либо САРР-системе, например, Компас-Вертикаль, или САМ-системе, САМ-модуле тяжелой системы. Эти решения в дальнейшем используются другими участниками единого информационного пространства (они же – участники жизненного цикла изделия), как входящими в состав АС ТПП – автоматизированной системы технологической

подготовки производства, так и производственными подразделениями, реализующими спроектированные технологические процессы. Таким образом, это современное направление сводится к органическому встраиванию систем автоматизации проектирования технологических процессов в общую цепочку этапов жизненного цикла изделий в соответствии с идеологией CALS (ИПИ)-технологий.

1.2. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИКИ

При разработке систем автоматизации проектирования техпроцессов, при моделировании решения технологических задач, при описании программных продуктов, предлагаемых к применению в технологическом проектировании, используются специфические разделы математики. Как в древности появилась геометрия для обслуживания землеизмерения, далее появились символы и правила арифметики, позволяющие формализовать часто выполняемые человеком действия по сложению чего-либо, разделению на части и так далее, как в средние века человечество определилось с интегральным исчислением, как изучение напряжений и деформаций в механике привело к тензорам, так использование электронно-вычислительных машин породило вычислительную математику, дискретную математику.

Элементы этой современной математики в самом простейшем изложении, достаточном для понимания моделей решения основных технологических задач, можно свести к следующему.

Теория множеств. Множеством называется совокупность некоторых объектов – элементов множества.

Принадлежность какого-либо элемента к какому-либо множеству обозначается символом \in :

- $b \in D$ – элемент b принадлежит множеству D ;
- $b \notin A$, или $b \notin C$ – элемент b не принадлежит множеству A или множеству C .

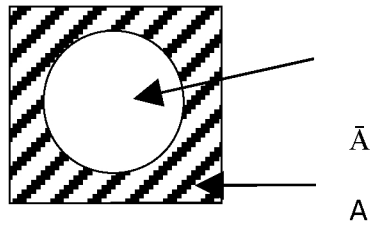
Множество задается либо перечислением элементов, либо описанием их свойств, например, множество студентов группы 1501 СГАУ (описание свойств) может быть задано также их списком (перечисление элементов). Причем, если этот список составлен по алфавиту, то это множество называется кортежем, так как кортеж – это множество, в котором имеет смысл порядок следования элементов.

Множество в силу каких-то причин может остаться без элементов, такое множество, не содержащее элементов, называется пустым и обозначается нулём (\emptyset).

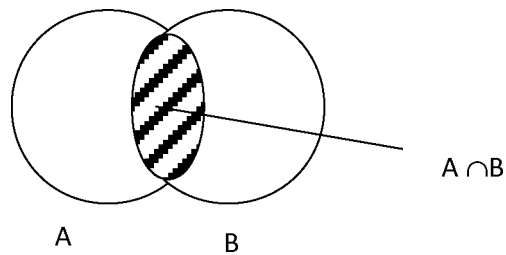
Множества бывают равными.

По определению множество A равно множеству B ($A = B$), если все элементы множества A принадлежат множеству B ($a_i \in B$) и все элементы множества B принадлежат множеству A ($b_j \in A$).

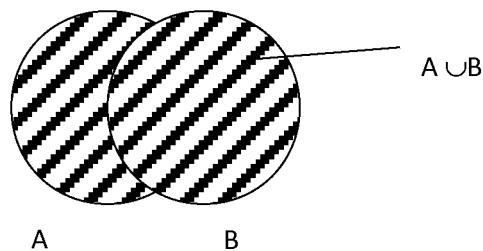
Отрицанием (дополнением) множества A называется множество, состоящее из элементов, не принадлежащих множеству A , оно обозначается символом $\bar{C} A$ или \bar{A} .



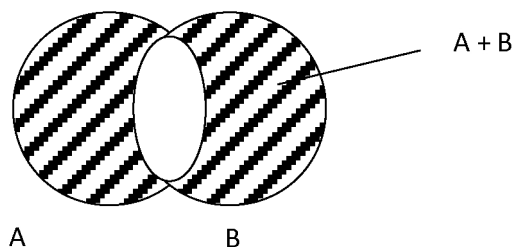
Пересечением множеств A и B называется множество, состоящее из элементов, принадлежащих одновременно и множеству A , и множеству B . Эта операция имеет обозначение $A \cap B$.



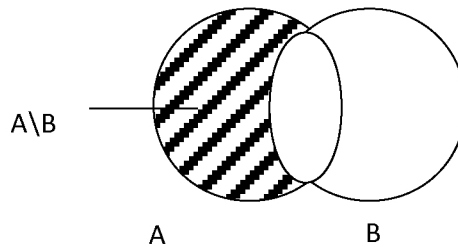
Объединение множеств A и B – это множество, состоящее из элементов, принадлежащих хотя бы одному из этих множеств. Символ объединения множеств $A \cup B$.



Дизъюнктивная сумма $A+B$ (или симметрическая разность $A \Delta B$) множеств A и B – это множество, состоящее из элементов множества A и множества B , не принадлежащих их пересечению.



Разность множеств $A \setminus B$ – множество, состоящее из элементов множества A , не принадлежащих множеству B .



Мощность множества A обозначается символом $|A|$, это количество элементов множества.

Теория графов. Графом называется множество вершин на плоскости, которое не пусто, и множество связей между ними, которое может быть пустым:

$$G = (A, R)$$

где A – множество вершин, R – множество связей.

В технологическом приложении граф – это схема взаимосвязи каких-либо технологических объектов (например, схема сборки изделия есть последовательность соединения деталей (a_i) в узлы (b_j), узлы – в агрегаты (c_k) и т.д. (рис.7).

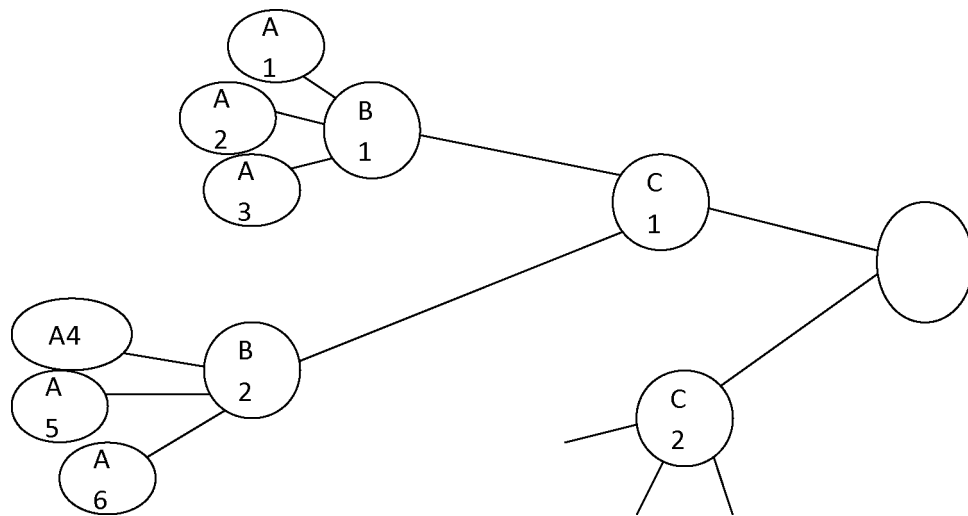


Рис.7. Граф сборки изделий

Такой граф называется деревом, у него наблюдаются ассоциации со стволом, ветвями, побегами и листьями.

Или, например, граф размерных связей показывает, какие поверхности детали связаны размерами с другими поверхностями (рис.8).

Для корпусных деталей с десятками поверхностей такие графы много сложнее, из их анализа можно формально сделать вывод об очередности обработки поверхностей, исходя из известного принципа: чем больше размерных связей у какой-либо поверхности, тем раньше она должна обрабатываться, так как она является базовой поверхностью для большего числа

поверхностей. Самый простой по структуре граф называется простой цепью. Например, это последовательность операций (O_i) в конкретном техпроцессе (рис.9).

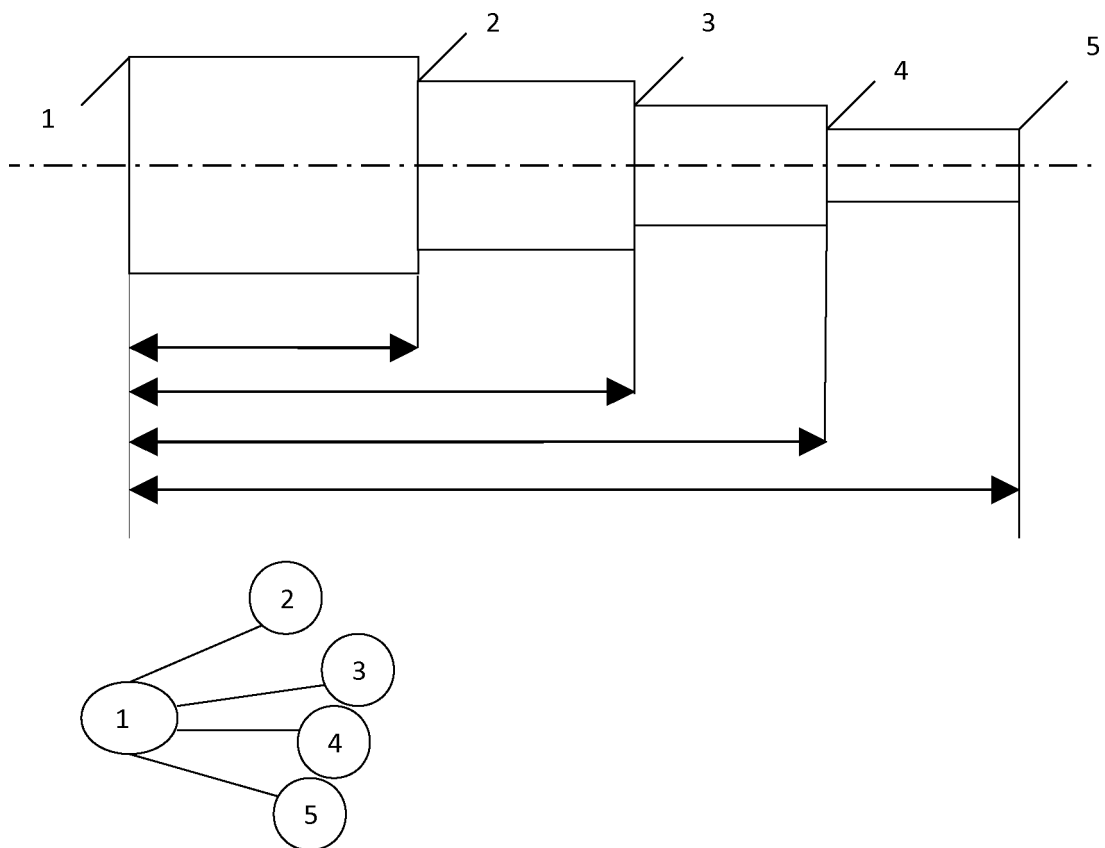


Рис.8. Деталь и граф размерных связей поверхностей

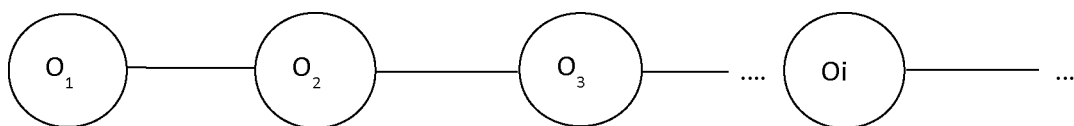


Рис.9. Граф – простая цепь очередности операций в техпроцессе

Сложные графы имеют обратные связи, т.е. циклы, несвязанные вершины и группы вершин и т.д. Связи между вершинами графа могут иметь веса (размер, длину...) и направления, которые обозначаются стрелками.

Графы весьма наглядны и удобны для иллюстраций, комментирования, принятия решений, коллективного обсуждения технических вопросов. Но для машинной обработки информации, имеющейся на графе, их требуется перевести в матричный вид, т.е. в матрицы, столбцами и строками которых выступают вершины или связи. Эти матрицы отражают существование вершин и связей, направление связей, вес, пути достижения одной вершины из другой и т.д. Анализ матриц проводится по известным отлаженным алгоритмам. На рис.10 представлена матрица смежности для графа, изображенного на рис.8. При наличии связи между вершинами графа на пересечении соответствующих строк и столбцов ставится «1» (да), в противном случае ставится «0» (нет).

Решаемые таким образом задачи сводятся к ранжированию вершин по количеству связей, отысканию путей достижения одной вершины из другой, оптимизации этих путей и т.д.

	1	2	3	4	5
1	0	1	1	1	1
2	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0

Рис.10. Матрица смежности графа размерных связей на рис.8.

Алгебра высказываний. Высказыванием называется любое повествовательное предложение, про которое можно сказать, истинное оно или ложное. В технике такие повествовательные предложения зачастую сводятся к сравнению чисел: $=$; \neq ; \geq ; $<$ и т. д. Истинность чаще всего обозначается «1» (да), ложность обозначается «0» (нет). При моделировании и разработке программного обеспечения используются блок-схемы алгоритмов, где очень популярным блоком является блок сравнения, который называется решением и выглядит как ромб с двумя выходами: если «да» – одно продолжение действий, если «нет» – другое (рис.11).

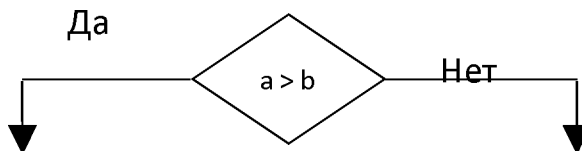


Рис.11. Символ сравнения (решения) блок-схем алгоритмов

При этом впоследствии в алгоритме вполне возможны другие аналогичные сравнения. Различные сочетания этих сравнений являются операциями Буля, разработавшего свою алгебру логики задолго до появления ЭВМ, но тем не менее эта алгебра считается основой функционирования цифровых компьютеров. И, конечно, при моделировании каких-либо процедур очень удобно записывать логику некоторыми символами, означающими содержание операции.

Пусть даны два высказывания x и y . Отрицанием высказывания x называется высказывание, которое истинно тогда, когда x ложно, и наоборот, называется НЕ x , обозначается символами $\neg x$ или \bar{x} .

Конъюнкцией двух высказываний x и y называется высказывание, которое истинно тогда, когда истинны оба высказывания x и y , и называется логическим И (И одновременно) и обозначается как $x \wedge y$.

Дизъюнкцией двух высказываний x и y называется высказывание, которое истинно тогда, когда истинно хотя бы одно из высказываний или x , или y , называется логическим ИЛИ (ИЛИ неразделительно) и обозначается как $x \vee y$.

Импликацией двух высказываний x и y называется высказывание, которое ложно тогда, когда x истинно, а y ложно: $x \rightarrow y$ (ВЛЕЧЕТ, ЕСЛИ..., ТО...).

Эквиваленцией двух высказываний x и y называется высказывание, которое истинно тогда, когда значения x и y совпадают: $x \leftrightarrow y$ (РАВНОСИЛЬНО).

Разделительной дизъюнкцией двух высказываний x и y называется высказывание, которое истинно тогда, когда истинно одно из высказываний или x , или y , но не сразу оба: $x \nabla y$ (ИЛИ разделительно).

Перечисленные операции можно свести в таблицу (таблица 1).

Обозначение логических операций

x	y	\bar{x}	\bar{y}	$x \wedge y$	$x \vee y$	$x \rightarrow y$	$x \leftrightarrow y$	$x \nabla y$
1	1	0	0	1	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1	0	0	1
0	1	1	0	0	1	1	0	1
0	0	1	1	0	0	1	1	0

Следует отметить, что для обозначения операций могут использоваться и другие символы: $\&$ взамен \vee , \equiv взамен \leftrightarrow и др.

Алгебра предикатов. В моделировании и автоматизации проектирования технологических процессов под предикатом в узком смысле слова принято понимать высказывание, записанное в общем виде. Строго говоря, в блоке сравнения на рис.11 записано не высказывание, а предикат. Если в предикат поставить конкретные значения (величину) аргументов, получится высказывание, которое или истинно, или ложно. Про предикат нельзя заранее говорить, что он истинен или ложен, пока аргументы по величине (значению) не определены. Конечно, если при любых аргументах предикат ложен или истинен, можно сказать и заранее, но с добавлением – тождественно истинен (тождественно ложен).

Операции над предикатами те же, что и над высказываниями: дизъюнкция, конъюнкция... Кроме них в алгебре предикатов имеется распространенная операция навешивания кванторов. Кванторы навешиваются на аргументы, от которых зависит предикат, при этом может оговариваться множество, к которому аргумент принадлежит.

Существует два квантора:

- квантор общности (всеобщности), обозначаемый символом \forall ;
- квантор существования, обозначаемый символом \exists .

Пусть дан предикат $R(x_1, x_2, \dots)$. Навешивание квантора общности на аргумент x_1 записывается в виде $\forall x_1 R(x_1, x_2, \dots)$ и означает, что для любых x_1 справедлив предикат R . Здесь для аргумента x_1 не оговорено множество, к которому он принадлежит, но оно может и устанавливаться.

Навешивание квантора существования, например, на аргумент x_2 , принадлежащий множеству M , записывается в виде $\exists_M x_2 R(x_1, x_2, \dots)$ и означает, что существует такой аргумент x_2 из множества M , при котором справедлив предикат R .

Так, например, комментарий к рис.8 об очередности обработки поверхностей можно выразить как

$$\forall^x_N \exists^y_W (y < x)$$

Эта запись означает, что для любой поверхности x из множества поверхностей N некоторой детали существует поверхность y , принадлежащая множеству W , такая, что она является по отношению к x базовой, т.е. ее обработка предшествует обработке поверхности x или, что то же самое, x следует за y (символ следования или предшествования $y \prec x$). Здесь множество поверхностей деталей разделено на N и W , которые отличаются друг от друга на одну первую базовую поверхность, принадлежащую только множеству W .

Таким образом, с помощью высказываний и предикатов можно символично записывать логику, т.е. разрабатывать математические модели логических процедур в виде зависимостей, формул, для чего, собственно говоря, и существует математика вообще.

1.3. МЕТОДЫ МАШИННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХПРОЦЕССОВ

Под проектированием технологических процессов понимается разработка процедуры производства или изготовления какого-либо продукта из заготовки, полуфабриката или комплектующих единиц. Конечным результатом такого проектирования является комплект технологической документации в электронном или бумажном исполнении. При этом в качестве основных документов, как правило, выступают текстовые маршрутная карта и операционная карта. Эти текстовые документы, как известно, содержат сведения о действиях исполнителей в хронологической последовательности, используемом оборудовании, технологическом и контрольно-измерительном инструменте, режимах работы оборудования, профессии исполнителей, нормах времени и др. При составлении этих документов необходимо решить некоторые задачи, множество которых сводится к трем типам: задача типа «расчет», задача типа «выбор», задача типа «определение порядка» (имеется ввиду порядок следования в пространстве или времени). Как можно составить такие текстовые документы и решить при этом такие задачи с помощью средств вычислительной техники?

Различают несколько методов машинного проектирования техпроцессов [2,3], во многом соответствующих направлениям развития автоматизации этого проектирования (см. раздел 1.1):

- метод аналогий;
- метод адресации;
- метод синтеза;
- метод диалога.

Метод аналогий основан на использовании готовых решений на уровне технологических процессов за счет заимствования информации о выполненных ранее разработках технологической документации. Схема проектирования техпроцесса, например, для детали, выглядит следующим образом:

$$Д \rightarrow Д-А \rightarrow ТП_{Д-А} \rightarrow ТП_Д.$$

Для реализации этого метода необходимо иметь развитую информационно-поисковую систему, в базе данных которой накапливаются информационные модели деталей и их технологические процессы. При необходимости спроектировать новый техпроцесс для некоторой новой детали $Д$ с помощью информационно-поисковой системы в базе данных отыскивается подходящая (похожая) деталь-аналог $Д-А$. Техпроцесс этой детали-аналога $ТП_{Д-А}$,

также отыскиваемый в базе данных по признакам детали-аналога, используется как исходный вариант новой проектируемой технологии. Откорректировав этот вариант с помощью какого-либо редактора, можно получить техпроцесс для новой детали ТП_д, который вместе с информационной моделью детали Д пополнит базу данных.

Главным достоинством этого метода, помимо упрощения и ускорения процесса проектирования технологии, является возможность повторного использования готового технологического оснащения. Имеется в виду оснастка, инструмент, спецоборудование и т.д., применяющиеся в техпроцессе детали-аналога. В худшем случае можно использовать проекты этого технологического оснащения также в качестве аналога, а в лучшем случае это оснащение может участвовать без доработки непосредственно в новом технологическом процессе.

Для метода аналогий характерны также и некоторые недостатки, трудности реализации и проблемы. Так, поскольку разрабатываемый техпроцесс базируется на случайной основе, то он может оказаться структурно не оптимальным, то есть потребуются высокая квалификация при переходе от ТП_{д-А} к ТП_д, который к тому же может оказаться и ручным, т.е. малоавтоматизированным.

Кроме того хранение и поиск детали-аналога в базе данных затруднены тем, что это весьма сложные в информационном отношении объекты. В таком контексте удобной представляется информационно-поисковая система с базой данных индивидуального пользования. В этом случае оператор-технолог сам решает, к какой детали обратиться, как к аналогу, потому что помнит все свои накопления. Однако такая база, которая уместается в памяти человека, не может быть большой, она ограничена по объему и не всегда сможет предоставить свои услуги в виде хорошего аналога. Большая база данных должна быть коллективного пользования с тем, чтобы ее можно было предоставлять многим операторам-технологам, в том числе и сторонних организаций. Но при этом появляется проблема автоматизации поиска нужной информации. Поиск по большому количеству подробных признаков может дать очень хороший похожий аналог, но может и не дать ничего. Поиск по небольшому количеству признаков общего характера даст много аналогов, но они будут мало похожи на то, что требуется. Здесь вступают в традиционный конфликт полнота и точность поиска информации. Процедура поиска информации может быть проиллюстрирована схемой, представленной на рис. 12.

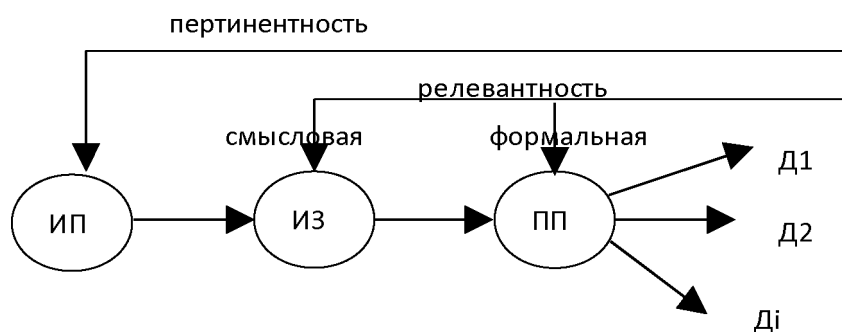


Рис. 12. Связь терминов информационного поиска

Возникшая информационная потребность (ИП) должна быть как-то сформулирована потребителем, что делается в виде информационного запроса (ИЗ), который, в свою очередь,

требует переформулировки в соответствии с инструкцией пользования информационно-поисковой системой в поисковое предписание (ПП). Поисковое предписание может выглядеть, например, как набор ключевых слов. В данном случае, когда речь идет о поиске детали-аналога, правила составления поискового предписания встречаются определенные вышеуказанные трудности.

Найденные детали (D_i) могут отвечать потребности (запросу, предписанию), а могут и не отвечать. Соответствие найденной информации, а в данном случае деталей, информационной потребности называется пертинентностью, а соответствие информационному запросу и поисковому предписанию – релевантностью, смысловой (для ИЗ) и формальной (для ПП).

Чаще всего то, что релевантно, то и пертинентно, однако все же не всегда, так как возможно искажение смысла в формулировках и переформулировках.

Эффективность поиска характеризуется полнотой и точностью. Если обозначить множество релевантной информации, что имеется в базе данных, символом P , а множество выданной информации – символом B да еще и измерить объем информации в каких-либо единицах, то полноту поиска можно определить как отношение мощности пересечения множеств P и B к мощности множества P :

$$\Pi = \frac{|P \cap B|}{|P|},$$

а точность – как отношение мощности пересечения множеств P и B к мощности множества B :

$$T = \frac{|P \cap B|}{|B|}.$$

Пересечение множеств P и B есть множество полезной информации из всей выданной или множество выданной информации из всей, которая подходит по запросу (поисковому предписанию).

Конечно, желаемой величиной полноты и точности является 100%. На практике, в частности, при поиске детали-аналога, при стремлении к максимальной точности приходится жертвовать полнотой и наоборот, для увеличения полноты – жертвовать точностью. А зависит полнота и точность от подробности информационных моделей деталей в базе данных и подробности задания на поиск, т.е. подробности сравнения поискового предписания с поисковыми образами.

Метод адресации. Основан на применении унифицированных технологических процессов, т.е. техпроцессов, являющихся универсальными для множества изделий (деталей) определенного типа. Такой типовой техпроцесс требует конкретизации применительно к определенной детали (изделию), и эта конкретизация призвана быть автоматизированной, но может быть и ручной. Этот метод по идеологии восходит к так называемой групповой технологии, известной в мелкосерийном производстве как оптимальная в смысле организации производства.

Схема проектирования техпроцесса имеет вид:

$$D \rightarrow KD \rightarrow УТП \rightarrow РТП.$$

При необходимости разработки техпроцесса на некоторую деталь Д (или узел изделия, если речь идет о сборке) следует обратиться к комплексной детали КД, представляющей из себя виртуальное множество конструктивных элементов и технических данных некоторой группы похожих друг на друга деталей. Технологический процесс этой КД будет универсальным, унифицированным (УТП), пригодным с запасом для любой детали данного типа. Его необходимо превратить в рабочий процесс данной детали РТП путем отбора характерных для нее операций и переходов, исключения ненужных, конкретизации оборудования, приспособлений, инструмента и т.д.

Все эти процедуры данный метод подразумевает как автоматизированные, осуществляемые по определенным алгоритмам и моделям. Например, одна из моделей – выборка операций – выглядит следующим образом. В начале создания системы автоматизации проектирования техпроцессов изготовления деталей, узлов, сборочных единиц, изделий (далее – деталей) имеющаяся номенклатура деталей классифицируется по конструктивно-технологическим признакам, сходные детали группируются. Далее внутри каждой группы создается виртуальная комплексная деталь, для чего к самой сложной детали добавляются оригинальные элементы других деталей. Для этих комплексных деталей разрабатываются техпроцессы, которые будучи также виртуальными, являются универсальными внутри своих групп, избыточными относительно каждой конкретной детали. В сущности эти УТП являются объединением множеств маршрутов отдельных технологий деталей, входящих в группу:

$$УТП = \bigcup_{i=1}^n M_i,$$

при этом для удачно сгруппированных деталей $|\bigcap_{i=1}^n M_i| \rightarrow \max$, а $|\bigcup_{i=1}^n M_i| \rightarrow \min$.

Унифицированный технологический процесс разрабатывается аналогично комплексной детали: к самой сложной технологии добавляются оригинальные структурные составляющие других техпроцессов деталей данной группы.

Далее формулируются условия, от которых зависит выбор операций для включения в конкретный технологический маршрут. Эти условия отражают конструкцию и технические условия, т.е. то, что является чертежом или информационной моделью детали. Фрагмент такого списка условий представлен в таблице 2 в качестве примера.

Таблица 2

Условия выбора операций обработки ступенчатых валов

Код условия	Формулировка условия
A ₁	Материал – сталь
A ₂	Материал – алюминиевый сплав
...	...
A ₁₀	Заготовка – круглый прокат
A ₁₁	Заготовка – штамповка
...	...

A_{70}	термообработка – улучшение
A_{71}	Термообработка – закалка
...	...
A_{103}	Отношение $L/D > 12$
...	...

Для каждой операции УТП определяются условия ее выбора, условия включения ее в проектируемый новый технологический процесс.

Пусть, например, в унифицированном техпроцессе существует такая операция: «Токарная. В патроне и люнете. Подрезать торцы в размер и править центровые фаски согласно эскизу». Эта операция используется для изготовления ступенчатых валов при отношении длины детали к ее диаметру $L/D > 12$ (условие A_{103}) после термообработки – улучшения (условие A_{70}). Предикат, определяющий выбор этой операции, является конъюнкцией $A_{70} \wedge A_{103}$. Эта же операция нужна и после закалки, чтобы подправить деталь после коробления, т.е. операция выбирается и при конъюнкции $A_{71} \wedge A_{103}$. Таким образом, условием использования операции будет дизъюнкция конъюнкции $(A_{70} \wedge A_{103}) \vee (A_{71} \wedge A_{103})$. В общем случае дизъюнкций и конъюнкций может быть несколько, поэтому для выбора каждой отдельной операции, т.е. условием включения ее в проектируемый техпроцесс будет некоторая функция

$$f = \bigvee_{i=1}^n \left(\bigwedge_{j=1}^m A_j \right)_i$$

называемая функцией включения.

Проектирование нового техпроцесса для новой детали начинается с поиска подходящей комплексной детали – с адресации к КД. Для развития САПР ТП со множеством КД процедура адресации может состоять из двух этапов (рис. 13):

- сравнение по общим характеристикам;
- сравнение по составу элементов.

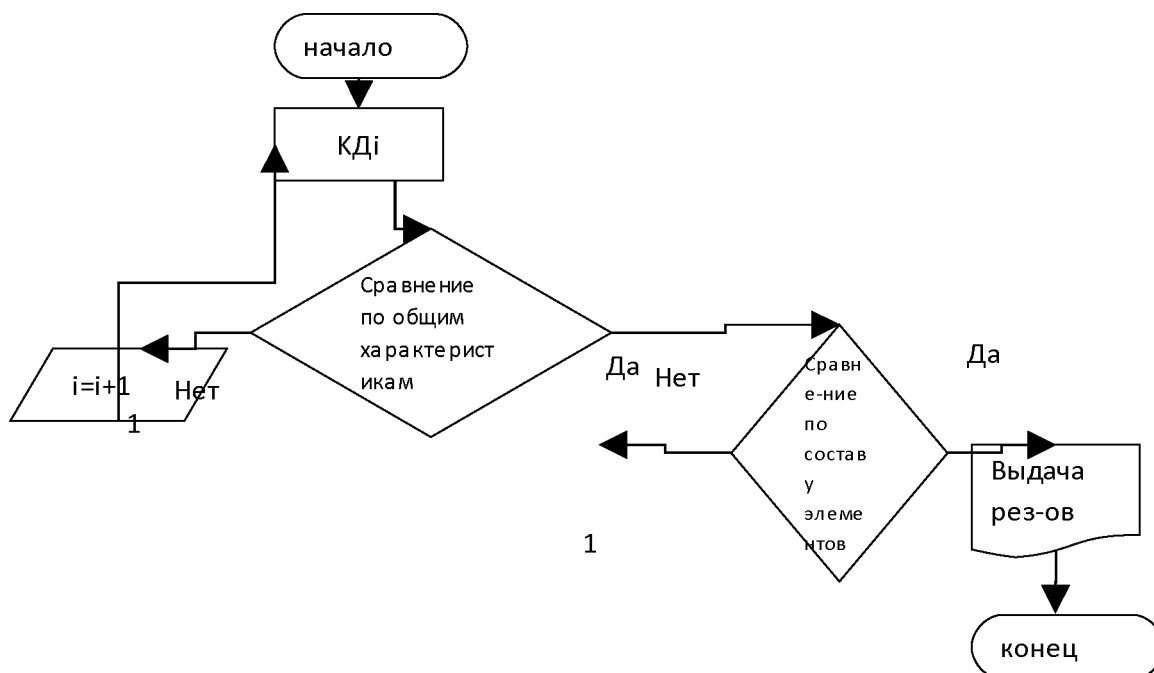


Рис.13. Блок-схема алгоритма поиска комплексной детали

Первое сравнение проводится по критерию, который в общем виде выглядит как

$$F = \bigwedge_{j=1}^n (x_{dj} R_j x_{kj})$$

где x_{dj} и x_{kj} – j -ая характеристика детали и комплексной детали; R_j – отношение порядка j -ой характеристики ($>$, $<$, $=$, ...). В качестве общих характеристик могут выступать коды деталей по ЕСКД, материал, вид заготовки и т.д.

Второе сравнение подразумевает анализ совпадения конструктивных элементов, который можно провести с помощью коэффициента адресации

$$K_A = \begin{cases} \frac{|K_c|}{|K_{kd}|}, |K_n| = 0 \\ -\frac{|K_n|}{|K_d|}, |K_n| \neq 0 \end{cases}$$

где K_d – множество конструктивных элементов детали; K_{kd} – множество конструктивных элементов комплексной детали; K_c – множество совпадающих конструктивных элементов; K_n – множество несовпадающих конструктивных элементов детали.

Коэффициент адресации может изменяться в пределах $-1 \leq K_A \leq 1$ (рис.14).

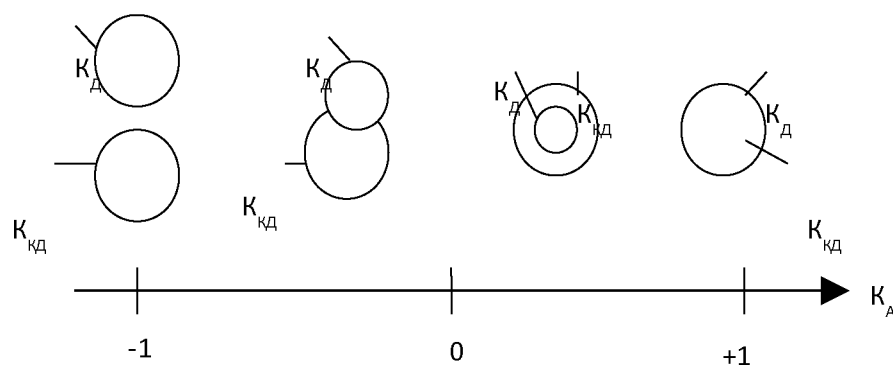


Рис.14. Диапазон изменения K_A

При этом $K_A = -1$ означает полное несовпадение множеств K_d и $K_{кд}$, если $-1 < K_A < 0$, то эти множества пересекаются, при $0 < K_A < 1$ множество $K_d \in K_{кд}$, и при $K_A = 1$ наблюдается совпадение множеств $K_d = K_{кд}$. Подходящей комплексной деталью считается та, для которой $K_A > 0$.

Следует отметить, что такой подход к формированию развитых САПР ТП с большим количеством КД в базе данных был характерен для школы профессора С. П. Митрофанова (Ленинградский институт точной механики и оптики). Реально системы с адресацией к комплексной детали (изделию) могут содержать один унифицированный технологический процесс и искать его, соответственно, нет необходимости.

После обращения к УТП необходимо выделить из него те операции, которые необходимы в проектируемом техпроцессе для новой детали. Исходными данными для выделения операции в индивидуальный маршрут являются логические условия, описывающие деталь, т.е. ее информационная модель, которая представляет собой конъюнкцию этих условий

$$L = \bigwedge_{k=1}^l B_k.$$

Эти условия либо формируются оператором по инструкции пользователя и сообщаются системе, либо выбираются системой из оцифрованного чертежа. Для каждой операции унифицированного техпроцесса существует функция включения

$$f = \bigvee_{i=1}^n \left(\bigwedge_{j=1}^m A_j \right)_i.$$

Для отдельных операций эта функция может представлять более простые наборы условий (одну дизъюнкцию, одну конъюнкцию...) либо вообще одно условие без дизъюнкций и конъюнкций. Есть также и такие операции, которые присутствуют во всех технологиях независимо от конструкции детали и технических требований к ней. Чаще всего это операции входного и выходного контроля, операции охраны труда, техники безопасности и другие. Пусть для таких операций функция включения $f=1$.

Для решения вопроса о необходимости выбора какой-либо операции УТП для включения ее в проектируемый индивидуальный техпроцесс система должна сравнить функцию включения этой операции f с моделью детали L . Такое сравнение нужно провести для всех операций унифицированного техпроцесса и выбрать для включения те, для которых либо функция включения $f = 1$, либо среди ее конъюнкций найдется такая, которая принадлежит информационной модели детали:

$$(f = 1) \vee \left\{ \exists \left(\bigwedge_{j=1}^m A_j \right)_i \left[\left(\bigwedge_{j=1}^m A_j \right)_i \in \left(L = \bigwedge_{k=1}^l B_k \right) \right] \right\}$$

Блок-схема алгоритма этой процедуры представлена на рисунке 15. Блоки 1 и 2 предусматривают вызов унифицированного техпроцесса УТП и информационной модели детали, для которой требуется сформировать новый технологический процесс:

$$L = \bigwedge_{k=1}^l B_k.$$

Далее (блок 3) осуществляется вызов очередной операции УТП, начиная с первой.

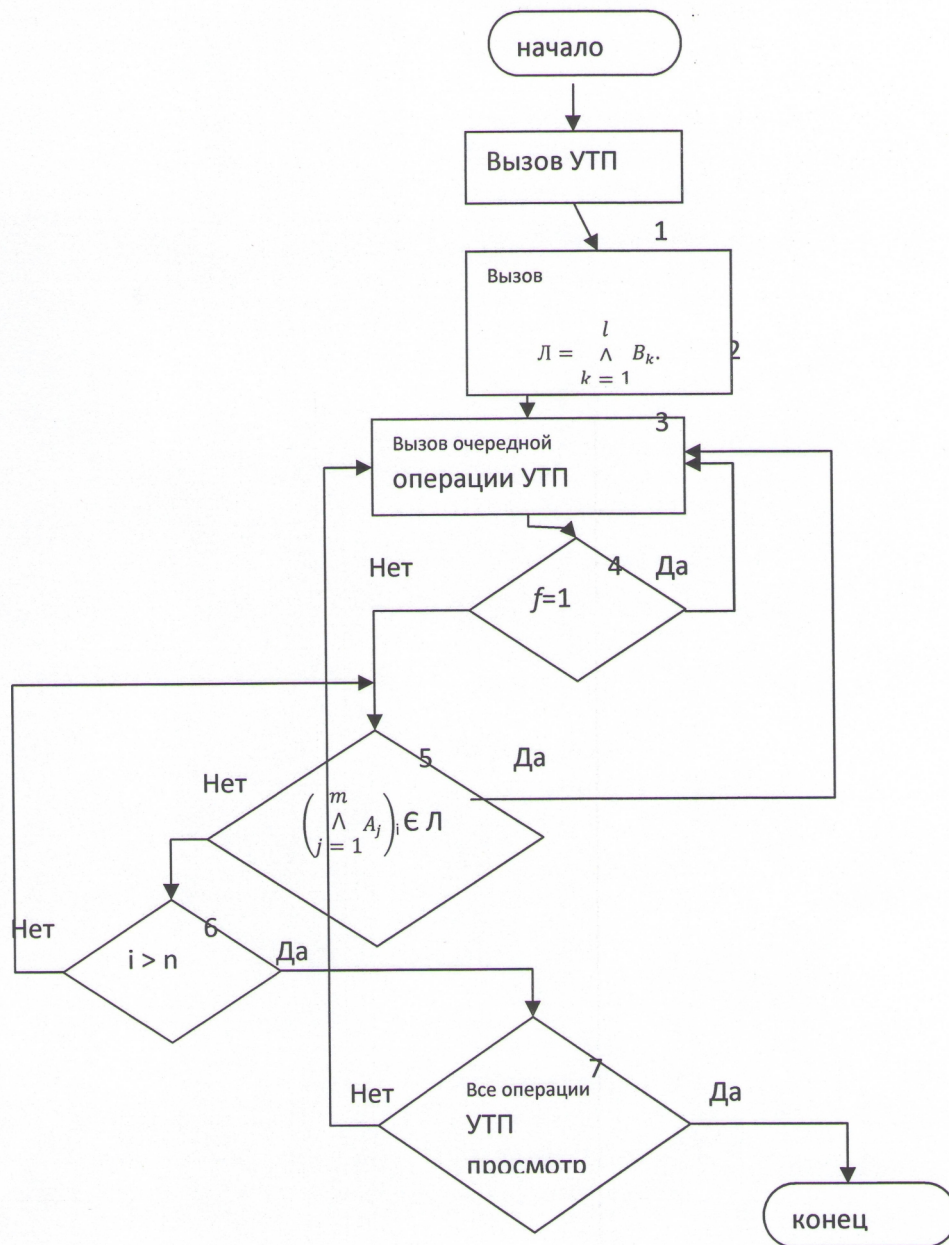


Рис.15. Блок-схема алгоритма построения индивидуального техпроцесса из унифицированного

Функция включения должна быть проанализирована, а именно, если $f = 1$ (блок 4), то операция включается в проектируемый техпроцесс как обязательная без сравнения с моделью детали и производится возврат к блоку 3 для вызова следующей операции УТП. Если $f \neq 1$, то каждая конъюнкция логических условий из функции включения сравнивается с множеством

(конъюнкцией) логических условий, описывающих деталь, т.е. с информационной моделью (блок 5)

$$L = \bigwedge_{k=1}^l B_k$$

Если хотя бы одна конъюнкция принадлежит множеству L , то анализируемая операция включается в новый техпроцесс и вызывается следующая операция УТП. В блоке 6 проверяется, вся ли функция включения просмотрена, т.е. все ли конъюнкции из f сравнены с L . Если «нет» (не все), то повторяется процедура блока 5 для оставшихся конъюнкций из f . Если «да», то в блоке 7 проверяется, все ли операции УТП просмотрены, а именно, если в блоке 7 «нет», то вызывается очередная операция, если в блоке 7 «да» – процедура завершена.

Так выглядит процедура выбора операций. Для каждой операции необходимо свое оборудование. Аналогично для всех видов оборудования, эксплуатация которого предусматривается данной САПР ТП, составляются логические условия его использования $\lambda_j^{об}$. При этом подразумевается, что для каждой операции ОП из унифицированного ТП найдется хотя бы одна единица оборудования такая, что ее логические условия $\lambda_j^{об}$ будут тождественны одному из логических условий, описывающих деталь, т.е. принадлежащих информационной модели

$$L = \bigwedge_{k=1}^l B_k.$$

Это заключение можно записать в виде выражения

$$\forall_{УТП} \exists_{ОП} \lambda_j^{об} (\lambda_j^{об} \equiv B_k),$$

которое является тождественно истинным предикатом.

Достоинством метода адресации являются невысокие требования к квалификации пользователей-технологов. Недостатком – ограниченность применения, так как проектируются только типовые техпроцессы данного предприятия, такие системы автоматизации проектирования называют иногда объектно-ориентированными, т.е. зависимыми от объекта производства.

Метод синтеза. Известные системы автоматизации проектирования техпроцессов методом синтеза касаются мехобработки резанием. Разработка состава операций базируется на основе анализа состояния поверхностей заготовки и детали. Типовые промежуточные состояния поверхностей от грубых (заготовка) до качественных (деталь) ставятся в соответствие определенным видам обработки – операциям и переходам. Очередность обработки поверхностей устанавливается путем их ранжирования по количеству размерных связей. Предусматривается оптимизация ввиду возможности многовариантных решений. Достоинством такого подхода к проектированию ТП является возможность разработки нетиповых технологий для деталей любой конструкции. САПР ТП такого типа называют инвариантными к объекту производства, не зависимыми от конструкции изделия. Вместе с тем возможность многовариантности имеет негативную сторону, ввиду сложности моделирования.

Иллюстрацией к методу синтеза может послужить следующая модель решения задачи типа «выбор» применительно к назначению операций механической обработки.

Существует много способов мехобработки, зависящих прежде всего от конечной точности и шероховатости поверхности детали, формы этой поверхности, материала, а также исходной точности и шероховатости поверхности заготовки, а также ряда других менее существенных факторов, которые в данной модели не рассматриваются для упрощения восприятия, доступности понимания модели. Например, если требуется получить классное отверстие в стальной детали, то могут быть использованы следующие кортежи операций: [сверление (Св), зенкерование (Зен), развертывание (Раз), развертывание чистовое (Раз.Ч)] V [сверление, растачивание (Рт), растачивание тонкое (Рт.т)] V [сверление, растачивание, шлифование (Ш), хонингование (Х)] V... Каждый из этих видов обработки позволяет получить некоторую точность и шероховатость поверхности отверстия, некоторый их диапазон. Как говорилось выше, в методе синтеза используются типовые промежуточные состояния обрабатываемых поверхностей. К этим состояниям в порядке улучшения качества относятся: 1 – состояние заготовки, 2 – состояние после черновой обработки (точность 12...13 квалитет, шероховатость R_z 20...30 мкм), 3 – состояние после чистовой обработки (точность 10...11 квалитет, шероховатость R_a 2,5...5 мкм), 4 – состояние после тонкой обработки (точность 8...9 квалитет, шероховатость R_a 1,25...2,5 мкм), 5 – состояние после отделочной обработки (точность 6...7 квалитет, шероховатость R_a 0,63...1,25 мкм).

Можно составить граф этих промежуточных состояний со связями в виде методов обработки (рис.16).

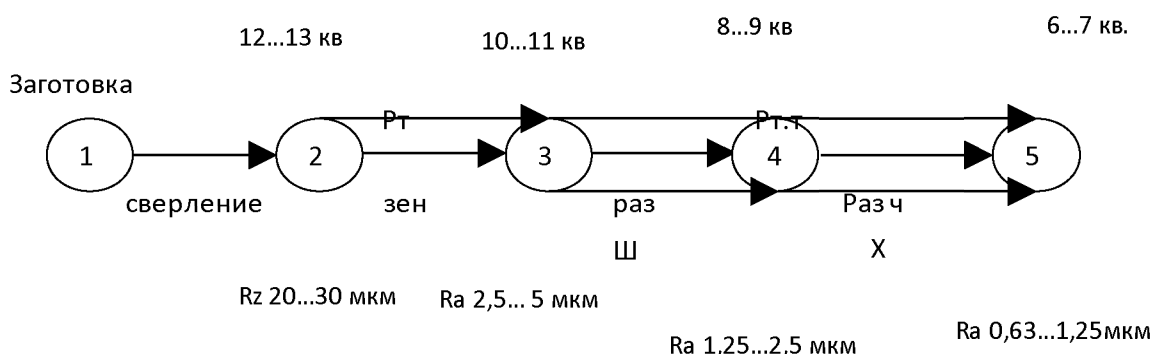


Рис.16. Граф типовых промежуточных состояний поверхности отверстия

Представленный упрощенный граф содержит некоторую информацию, достаточную для ручного пользования при проектировании техпроцессов. Более подробный граф и аналогичные графы для плоскостей, резьб, зубчатых колес и т.д., учитывающие материал и другие факторы, представляют из себя модели решения задачи выбора методов мехобработки. Однако для машинной обработки информации, содержащейся на графе, необходимо свести ее в таблицу определенной структуры, удобной для машинного использования (таблица 3).

База данных для выбора метода мехобработки

I	ΦI	MI	T _{min} I	T _{max} I	R _{min} I	R _{max} I	ОП	KI
1								
2								
...								
58	2	1	6	7	0,63	1,25	хонингование	59
59	2	1	8	9	1,25	2,5	шлифование	60
60	2	1	10	11	2,5	5	расточивание	61
61	2	1	12	13	20	30	сверление	0
...								

В таблице использованы обозначения: I – номер строки, ΦI – код формы поверхности детали (ΦI = 1 – плоскость, ΦI = 2 – цилиндрическое отверстие, ...), MI – код материала детали (MI = 1 – сталь, ...), T_{min}I – квалитет точности обработки (лучшая граница диапазона), T_{max}I – квалитет точности (худшая граница диапазона), R_{min}I – шероховатость поверхности (лучшая граница диапазона), R_{max}I – шероховатость поверхности (худшая граница диапазона), ОП – операция обработки, KI – ссылка на строку предшествующей операции.

Подразумевается, что в таблице 3, которая является базой данных для машинного выбора методов мехобработки, содержатся сведения об обработке различных поверхностей деталей из различных материалов. Пусть, например, в строках с I = 58 по I = 61 находится один из вариантов обработки отверстия согласно графу на рис. 16.

Исходными данными для использования этого массива, т.е. для выбора методов мехобработки, являются сведения об обрабатываемой заготовке и детали: ΦD – код формы поверхности детали (ΦD = 1 – плоскость, ΦD = 2 – цилиндрическое отверстие, ...), MD – код материала детали (MD = 1 – сталь, ...), TD – квалитет точности поверхности детали, RD – шероховатость поверхности детали, TZ – квалитет точности поверхности заготовки, RZ – шероховатость поверхности заготовки в мкм.

Поиск кортежа операций ведется в следующем порядке. Начиная с первой строки необходимо провести сравнение информации в строке с исходными данными. В случае положительного результата сравнения в столбце ОП находится конечная операция обработки. Положительным результатом считается совпадение кодов ΦI и ΦD, а также MI и MD, кроме того еще и попадание TD в диапазон между T_{min}I и T_{max}I при условии, что RD не меньше, чем R_{min}I, либо попадание RD в диапазон между R_{min}I и R_{max}I при условии, что TD не меньше, чем T_{min}I. Это сравнение можно записать в виде предиката

$$P_1 = (\Phi D = \Phi I) \wedge (M D = M I) \wedge [(T D \geq T_{\min} I) \wedge (T D \leq T_{\max} I) \wedge (R D \geq R_{\min} I)] \vee [((R D \geq R_{\min} I) \wedge (R D \leq R_{\max} I) \wedge (T D \geq T_{\min} I))]$$

Если из предиката P_1 для I -ой строки следует истинное высказывание, то ОПИ является искомой конечной операцией обработки. Если результат сравнения отрицателем, т.е. высказывание ложно, необходимо обратиться к следующей строке, нарастив индекс I на единицу. Нарастивание индекса означает циклическую процедуру, которая должна иметь конец. Для выхода из цикла необходимо после нарастивания индекса проверить его величину, а именно сравнить с номером последней строки массива I_{\max} . Если массив закончен, а об этом свидетельствует выполнение условия $(I + 1) > I_{\max}$, то процесс поиска прекращается.

После того, как найдена окончательная (последняя) операция обработки в соответствии с предикатом P_1 , необходимо провести поиск предшествующих черновых операций. Как следует из таблицы 3, предшествующая черновая (предпоследняя) операция записана в строке, на которую указывает ссылка KI . Например, если последней операцией выбрано шлифование, что записано в строке 59, то ссылка $KI = 60$ указывает на строку 60, где записана искомая предшествующая операция растачивания. Ссылка $KI = 0$ означает, что предшествующей операции обработки не предусмотрено, например, перед сверлением предшествующей черновой обработки не бывает. Найденная по ссылке предшествующая черновая операция выбирается в качестве таковой в том случае, если заготовка по точности или шероховатости хуже по сравнению с точностью или шероховатостью, которые получаются в результате этой обработки. Если же заготовка от такой обработки не улучшается, то такая черновая предшествующая операция не нужна.

Таким образом, поиск предшествующей операции ведется по предикату

$$P_2 = (KI \neq 0) \wedge [(TZ > T_{\max} KI) \vee (RZ > R_{\max} KI)]$$

Если из предиката P_2 следует истинное высказывание, то в строке $I=KI$ в колонке ОПИ записана искомая черновая операция, которая включается в проектируемый техпроцесс. После этого производится обращение к ссылке KI , приведенной в этой новой строке для поиска еще более черновой, еще более предшествующей операции по предикату P_2 , и так далее в цикле до ложности высказывания из предиката P_2 . По завершении выбора всех операций необходимо продолжить поиск по массиву до его конца с целью получения других возможных вариантов обработки в соответствии с исходными данными.

Блок-схемы алгоритмов поиска по предикатам P_1 и P_2 представлены на рис.17 и рис.18, причем алгоритм поиска по предикату P_2 является продолжением алгоритма поиска по предикату P_1 , и, соответственно, рис.18 – это продолжение рис.17, поэтому блоки алгоритма имеют совокупную нумерацию.

В блоке 1 сравниваются код формы поверхности детали и код формы, записанный в анализируемой строке. Если коды не совпадают, нарастивается индекс строки (блок 6), после чего производится проверка, не закончился ли массив информации, проиллюстрированный таблицей 3. Если в блоке 7 выясняется, что в результате увеличения номера строки он превысил максимально возможное его значение, т.е. номер последней строки массива, то процесс прекращается, так как весь массив становится просмотренным. В противном случае очередная строка анализируется, начиная с кода формы. Положительный результат сравнения кодов формы говорит о приемлемости этой строки по данному параметру. В этом случае происходит переход к сравнению кодов материала (блок 2), из которого аналогично имеется два выхода: «нет» – на нарастивание номера строки (блок 6), «да» – для продолжения сравнения по параметрам предиката P_1 . В блоке 3 ветка «нет» означает, что качество точности детали выше

(по абсолютному значению – меньше), чем лучший квалитет диапазона возможностей операции, записанной в рассматриваемой строке, т.е. эта операция не подходит, как грубая по точности обработки, и необходимо обращение к следующей строке (переход к блоку б). Ветка «да» блока 3 совместно с веткой «да» блока 4 означает, что данная строка содержит приемлемую по точности обработки операцию. Выход «нет» из блока 4 говорит о том, что операция дает точность лучше, чем того требует деталь, операция слишком хороша по точности, избыточно хороша, что не экономно. Но отвергать эту операцию пока не следует, она может быть необходимой по чистоте обработки, по величине шероховатости. Эту необходимость оценивают блоки 8 и 9, выход «да» из которых означает, что эта строка требуется по шероховатости, хотя и слишком хороша по точности, т.е. операция этой строки есть искомая операция окончательной обработки. Такой же результат получается при выходе «да» из блока сравнения 5: по точности операция ОПИ необходима, а по шероховатости она достаточна. Выход «нет» из блока 5 требует перехода к новой строке, так как операция ОПИ хотя и дает нужную точность, но по шероховатости она грубая для данной детали. «Нет» из блока 8 характеризует операцию также как недостаточную по чистоте обработки, хотя по точности она даже излишне качественная. Стрелка «нет» из блока 9 также приводит поиск к новой строке, так как ОПИ этой строки излишне качественна и по точности, и по шероховатости обработанной поверхности, достаточно и более грубой обработки.

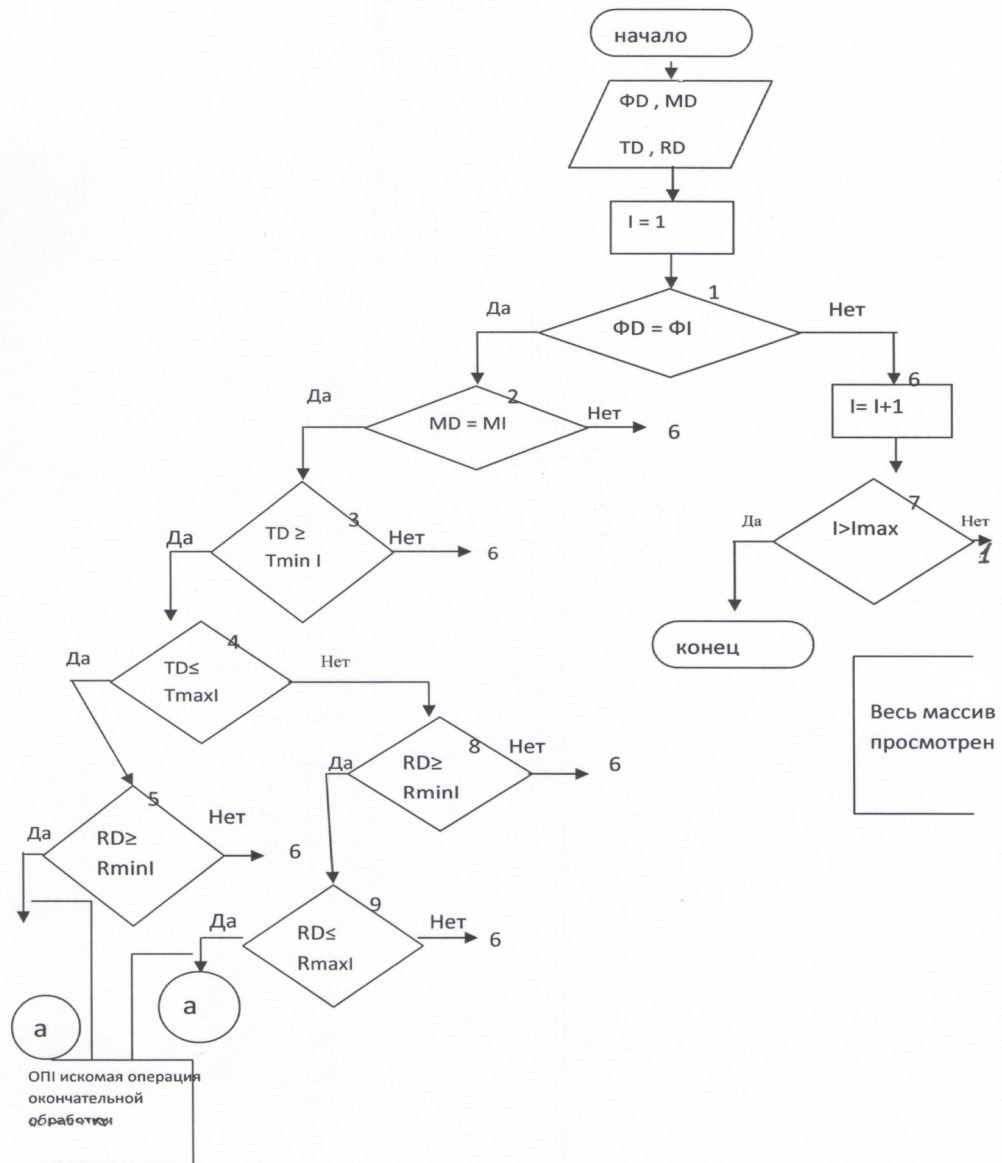


Рис.17. Блок-схема алгоритма поиска операции окончательной обработки

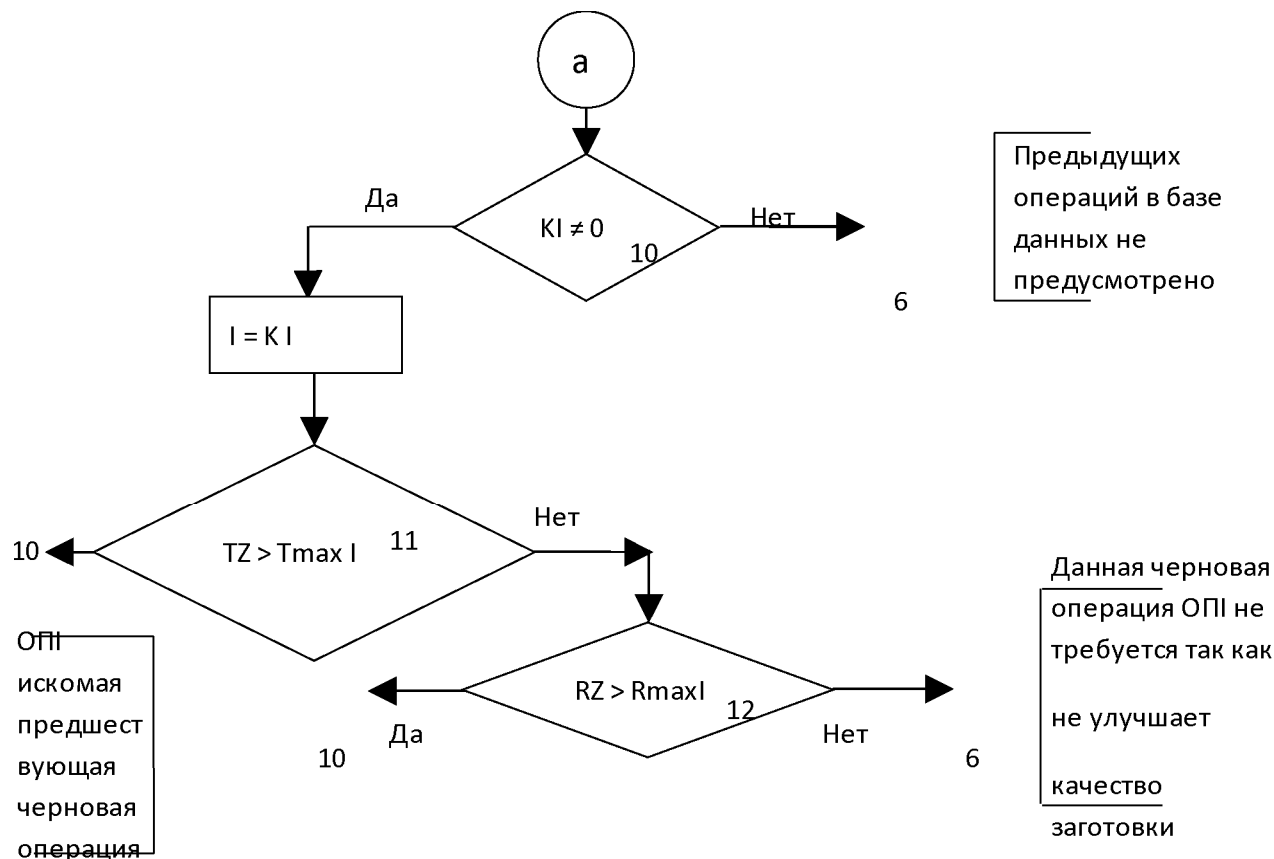


Рис.18. Блок-схема алгоритма поиска черновых операций обработки заготовки

После определения вида окончательной обработки («да» из блока 5 или 9) производится выбор предшествующей черновой обработки в соответствии с предикатом P_2 и алгоритмом рис.18. Если в строке I , где найдена окончательная операция ОП, записана ссылка $KI \neq 0$ («да» из блока 10), то необходимо обратиться к строке $I = KI$, где записана возможная черновая операция. Эта операция назначается в качестве предшествующей, если заготовка либо по точности (блок 11), либо (дизъюнкция) по шероховатости (блок 12) будет улучшена этой операцией. В этом случае в этой новой строке следует снова посмотреть ссылку KI и так далее, пока не произойдет выход из цикла по «нет» блока 10, что означает отсутствие в базе данных других еще более черновых операций либо и по точности («нет» блок 11) и по шероховатости («нет» блок 12) заготовка этой черновой операцией не сможет быть улучшена, т.е. операция для данной заготовки слишком груба и в ней нет необходимости. За этими результатами следует переход к блоку 6 для поиска других вариантов маршрута обработки.

Изображенные на рис.17 и рис.18 блок-схемы алгоритмов в сущности являются развернутыми предикатами P_1 и P_2 , поэтому их можно свернуть и представить в сокращенном виде (рис.19).

На этом рисунке в блоках сравнения показаны высказывания P_1^1 и P_2^1 , вытекающие, соответственно, из предикатов P_1 и P_2 для конкретных значений аргументов.

Как было сказано выше, таблица 3 имеет определенную удобную структуру, т.е. ее структура отражает алгоритм ее использования. Подобные таблицы широко применяются для решения задач типа «выбор», они являются одновременно и частью информационного обеспечения, и частью методического обеспечения, и частью математического обеспечения систем автоматизации проектирования технологических процессов и называются табличными алгоритмами. Так, например, для выбора прессового оборудования может быть предложен табличный алгоритм, представленный в таблице 4.

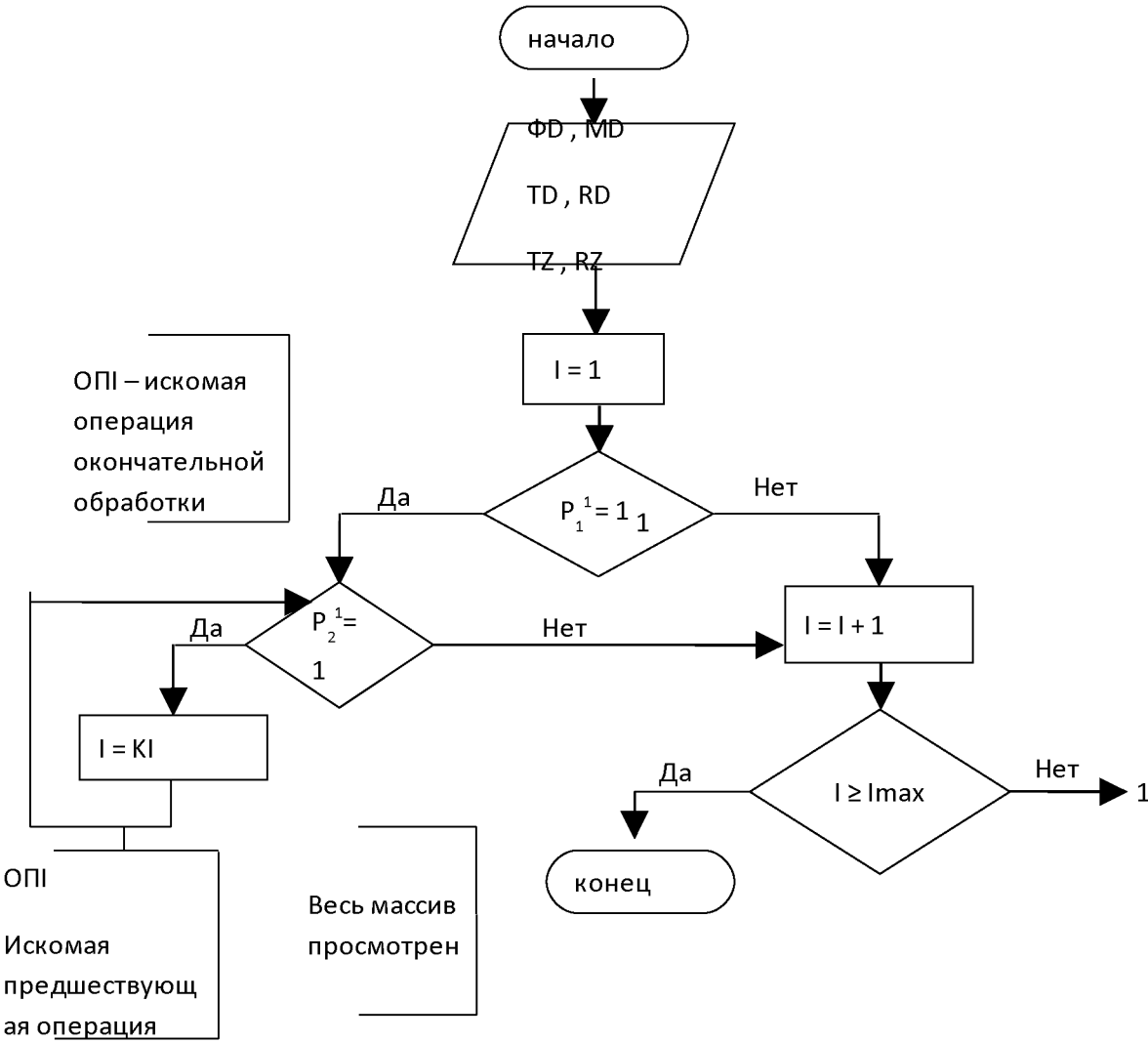


Рис.19. Блок-схема алгоритма поиска операции обработки

Фрагмент табличного алгоритма выбора прессового оборудования

Факторы Марка пресса	Усиление кН				Открытая высота, мм				Ход, мм		
	до 100	до 200	до 300	...	до 500	до 600	до 700	...	до 400	до 500	...
П6320Б	1	0	0	...	1	1	0	...	1	0	...
П6326Б	1	1	1	...	1	1	1	...	1	1	...
П6328Б	1	1	0	...	1	1	1	...	1	1	...
...											

Для табличных алгоритмов существует специальная терминология. Факторы, от которых зависит выбор (шапка в таблице 4), называются областью отправления или входным вектором, искомая информация (левая колонка в таблице 4) – областью прибытия или выходным вектором, зона с 1 и 0 («да» и «нет», соответственно) – таблицей соответствия или таблицей применимости.

Различия в структуре табличных алгоритмов могут заключаться в отсутствии таблицы применимости, содержании области отправления, ранжировании выходного вектора по предпочтительности, расположении входного вектора в наименованиях строк и столбцов, а выходного – на их пересечении и т.д.

Метод диалога. Недостатком метода синтеза является большое многообразие трудноформализуемых задач, автоматизированное решение которых предусматривает этот метод.

Например, при решении задач типа «выбор» оператор-технолог зачастую без компьютера может неформально, интуитивно определить оптимальный вариант, тогда как для машинного выбора потребуется модель решения в условиях неопределенности исходных данных. Проблемы моделирования, алгоритмизации, программирования решения подобных задач, коих в проектировании неординарных технологических процессов великое множество, привели к трансформированию метода синтеза в метод диалога.

В этом случае компьютеру отводится менее ответственная роль подсказчика решений. Система выбирает возможные варианты и предоставляет оператору право окончательного выбора. САПР ТП располагает развернутым меню, предлагает разнообразную помощь и подсказки с уточняющими вопросами в режиме диалога, с использованием которых оператор принимает директивные решения в условиях любой, даже неоднозначной исходной информации.

При этом во многих случаях при условии однозначности, определенности исходных данных система сама выполняет решение задачи выбора. Но о полной автоматизации проектирования, что подразумевает метод синтеза, речь не идет, нестандартные ситуации отслеживает оператор, система ему помогает, обеспечивая разнообразной информацией, в том

числе и по диалоговому запросу, и берет на себя оформление техдокументации в принятом стандартом виде. Такой подход в автоматизированном проектировании техпроцессов в диалоговом режиме является более распространенным и удобным по сравнению с методами адресации и аналогий, которые тем не менее также успешно используются в популярных программных продуктах.

1.4. ВИДЫ МОДЕЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Модели решения технологических задач могут быть представлены формулами, системами уравнений, графами, матрицами, блок-схемами алгоритмов и т.д. При этом решения задач типа «расчет» моделируются преимущественно явными зависимостями либо уравнениями, логические задачи выбора решаются с помощью табличных алгоритмов, определение порядка производится с использованием графов и матриц. Таким образом, при технологическом проектировании находят применение разнообразные модели, которые подразделяются на функциональные и структурно-логические математические модели [3].

Функциональные модели отражают физические процессы, протекающие в технологических системах «оборудование – оснастка – инструмент – полуфабрикат». По форме связей между выходными, внутренними и внешними параметрами при обработке или сборке различают модели в виде систем уравнений и в виде явных зависимостей. Эти модели применяют в основном в проектных процедурах расчета, анализа, оптимизации. Наиболее распространенными, типичными задачами для этого вида моделей являются определения технологических усилий, режимов обработки, напряжений и деформаций, норм времени. Например, решение распространенной в холодной листовой штамповке задачи раскроя листа на заготовки выглядит следующим образом. Пусть необходимы заготовки в виде прямоугольных карточек размером $a \times b$ для последующей штамповки из них некоторых деталей. Для этого требуется нарубить на гильотинных ножницах полосы из листа стандартного типоразмера $A_i \times B_i$, а из полос – заготовки $a \times b$. Следует рассмотреть два варианта раскроя листа на полосы (см. рис.20) с целью минимизации отхода. При раскрое по варианту I число полос из листа

$$m_I = \frac{B_i}{b},$$

где m_I – целое число с округлением в меньшую сторону.

Число деталей из полосы

$$n_I = \frac{A_i}{a},$$

где n_I – целое число с округлением в меньшую сторону.

Коэффициент использования материала

$$K_I = \frac{abm_I n_I}{A_i B_i}.$$

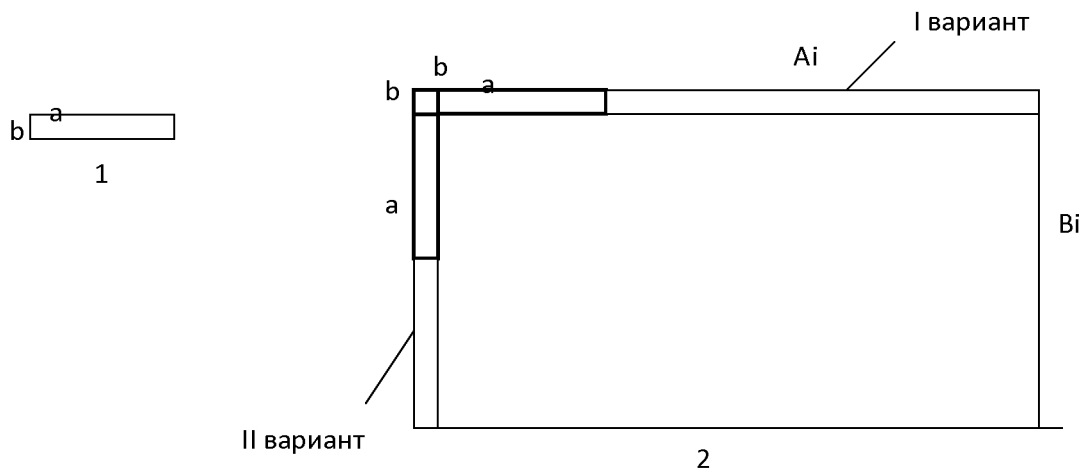


Рис.20. Раскрой листа на заготовки: 1 – заготовка; 2 – варианты раскроя листа

Аналогично по варианту II число полос

$$m_{II} = \frac{A_i}{b},$$

число деталей из полосы

$$n_{II} = \frac{B_i}{a},$$

коэффициент использования материала

$$K_{II} = \frac{abm_{II}n_{II}}{A_iB_i}.$$

Отдавая преимущество варианту с большим K , следует перебрать все имеющиеся в наличии стандартные типоразмеры листов $A_i \times B_i$ и выбрать оптимальные с наибольшим коэффициентом использования материала или, что то же самое, с минимальным отходом.

Структурно-логические модели отличаются большим разнообразием по сравнению с функциональными и решают задачи типа «выбор» и «определение порядка» (очередности следования чего-либо в пространстве и времени). В зависимости от их собственной сложности и возможностей они подразделяются на табличные, сетевые и перестановочные.

Кроме того, все разнообразие видов моделей проектирования техпроцессов разбивается на 12 классов в зависимости от четырех условий, определяющих техпроцесс [3].

Пусть F_1 есть условие, определяющее маршрут техпроцесса, причем $F_1 = 1$, если граф, описывающий проектируемый маршрут, является простой цепью, и $F_1 = 0$ – в противном случае.

Пусть F_2 – условие, определяющее техпроцесс по количеству элементов техпроцесса и $F_2 = 1$, если количество элементов в проектируемых вариантах техпроцесса постоянно, $F_2 = 0$, если оно изменяется.

Пусть F_3 – условие, учитывающее отношение порядка элементов проектируемых техпроцессов, $F_3 = 1$, если отношение порядка не меняется, $F_3 = 0$, если порядок следования операций, переходов может быть разным.

Пусть F_4 – условие, которое учитывает состав (характер) элементов вариантов техпроцесса, $F_4 = 1$, если состав элементов одинаков, $F_4 = 0$, если модель предусматривает разработку вариантов, например, с заменой строгальных операций на фрезерные, фрезерного раскроя листа на лазерный, гибку на листогибочных прессах на гибку эластомером на гидропрессах и т.д.

Если обозначить классы моделей как S_i , где $i = 1..12$, то определенному сочетанию условий F_j будет соответствовать некоторый класс S_i , как показано в таблице 5.

Модели класса S_1 называются табличными. В табличных моделях каждому набору исходных условий соответствует единственный вариант проектируемого техпроцесса. Такие модели используют в основном для поиска стандартных, типовых проектных решений.

Классы моделей

Условия, определяющие ТП				Классы	Вид модели
F_1	F_2	F_3	F_4		
1	1	1	1	S_1	Табличная
1	1	1	0	S_2	Сетевая
1	1	0	1	S_3	Перестановочная
1	1	0	0	S_4	Перестановочная
1	0	1	0	S_5	Сетевая
1	0	0	0	S_6	Перестановочная
0	0	1	1	S_7	Сетевая
0	1	1	0	S_8	Сетевая
0	1	0	1	S_9	Перестановочная
0	1	0	0	S_{10}	Перестановочная
0	0	1	0	S_{11}	Сетевая
0	0	0	0	S_{12}	Перестановочная

Сетевые и перестановочные модели применяют для получения как типовых, так и индивидуальных, оригинальных технологических процессов. Возможность варьирования элементами проектируемого техпроцесса обеспечивает многовариантность технологий, что позволяет оптимизировать проектные решения.

Модели классов $S_2, S_5, S_7, S_8, S_{11}$ являются сетевыми. Сетевые модели описывают множество вариантов техпроцесса, отличающихся количеством и составом операций.

Структура этих моделей описывается ориентированным графом без ориентированных циклов, в котором содержится несколько вариантов проектируемого техпроцесса, однако во всех вариантах сохраняется неизменным отношение порядка между входящими элементами, например, порядок следования операций остается неизменным.

Модели классов $S_3, S_4, S_6, S_9, S_{10}, S_{12}$ называются перестановочными. Отношение порядка между элементами проектируемого технологического процесса в перестановочных моделях задается с помощью графа, содержащего ориентированные циклы, причем варианты техпроцесса, проектируемые перестановочными моделями, различаются отношением порядка входящих в них элементов.

Примеры табличной, сетевой и перестановочной моделей.

1. Табличная модель класса S_1 .

Классическим примером является проектирование техпроцессов методом адресации, когда каждому сочетанию исходных данных о детали (изделии) соответствует единственный набор операций обработки (сборки), осуществляемый выборкой из унифицированного техпроцесса. Пусть имеется комплексная деталь КД, состоящая из поверхностей Π_i (рис.21).

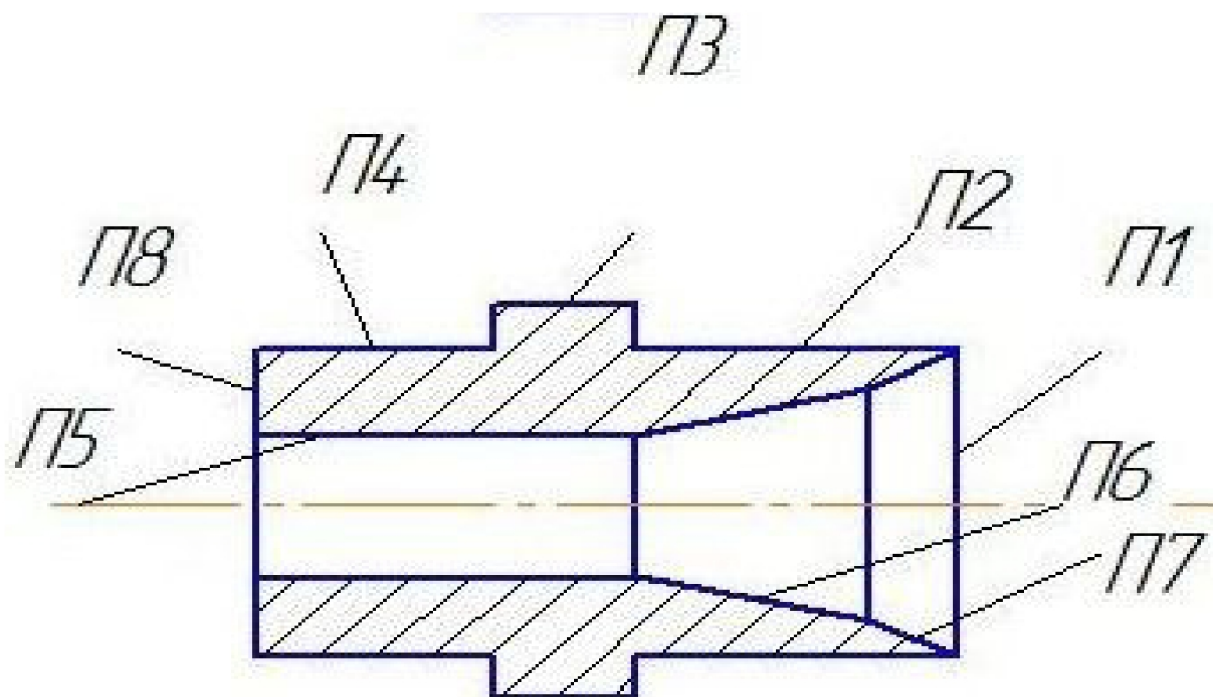


Рисунок 21. Комплексная деталь

Её обработка, т.е. унифицированный технологический процесс представляет собой кортеж операций:

- O_1 – подрезка правого торца Π_1 ,
- O_2 – точение цилиндрической поверхности Π_2 ,
- O_3 – точение цилиндрической поверхности Π_3 ,
- O_4 – точение цилиндрической поверхности Π_4 ,
- O_5 – сверление цилиндрического отверстия Π_5 ,
- O_6 – зенкерование конусного отверстия Π_6 ,
- O_7 – зенкование фаски Π_7 ,
- O_8 – подрезка левого торца Π_8 .

Граф очередности операций представляет собой простую цепь (рис.22).

Табличная модель в виде матрицы, содержащей обозначения операций O_i и поверхностей Π_i , показана в таблице 6.

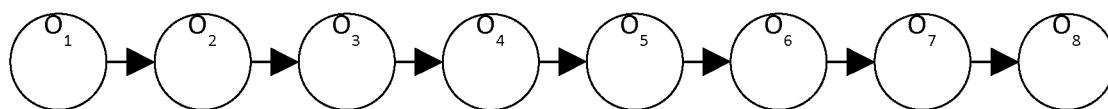


Рисунок 22. Граф унифицированного техпроцесса

Таблица 6

Матрица унифицированного техпроцесса

$O_i \backslash \Pi_i$	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Π_7	Π_8
O_1	1							
O_2		1						
O_3			1					
O_4				1				
O_5					1			
O_6						1		
O_7							1	
O_8								1

Для простоты примера в первом приближении функцией включения каждой из операций унифицированного техпроцесса можно считать наличие в конструкции детали соответствующей поверхности.

Пусть необходимо спроектировать техпроцессы для деталей D_1 и D_2 (рис.23), входящих во множество, охватываемое комплексной деталью.

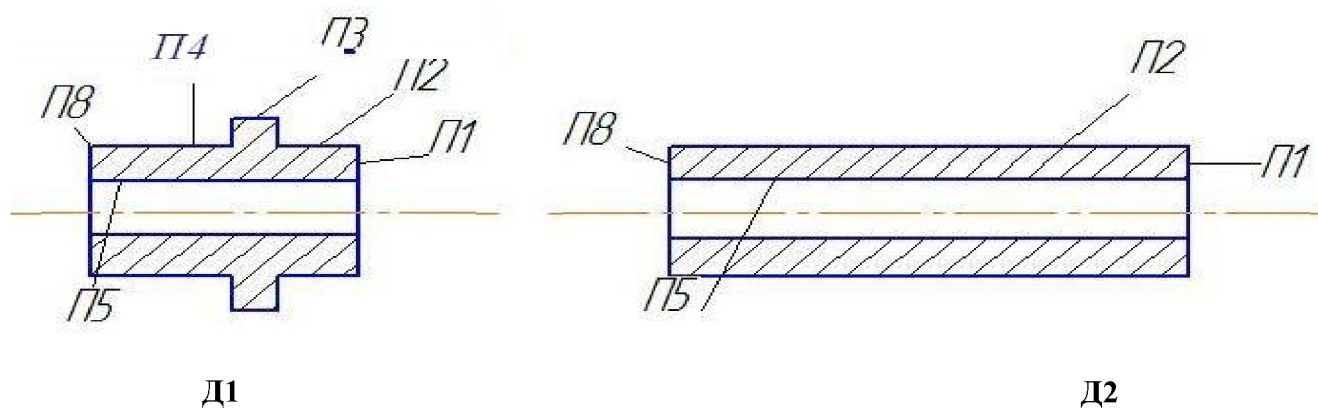


Рисунок 23. Детали для разработки индивидуальных техпроцессов

В соответствии с формулировкой функций включения, графом (рис.22) и матрицей (таблица 6) кортежи операций обработки деталей D_1 и D_2 могут быть представлены графами в виде простых цепей (рис.24) и матрицами (таблица 7).

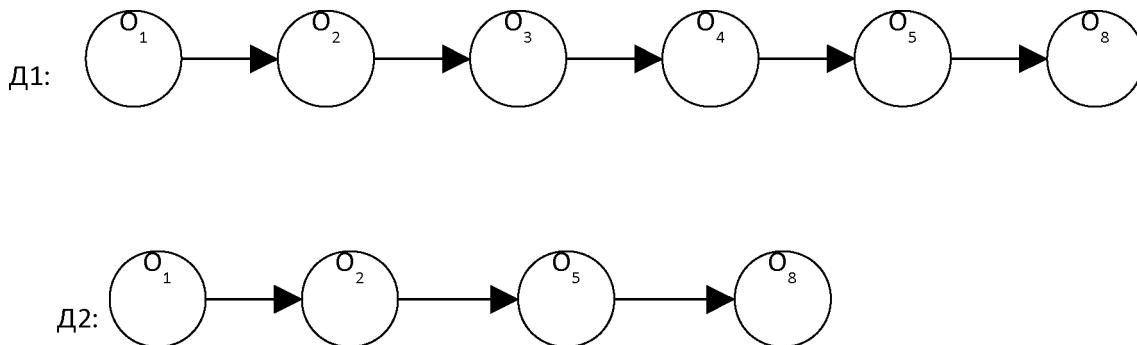


Рисунок 24. Графы операций обработки деталей D_1 и D_2

Таблица 7

Матрицы операций

$O_i \backslash D_j$	D_1	D_2
O_1	1	1
O_2	1	1
O_3	1	0
O_4	1	0
O_5	1	1
O_6	0	0
O_7	0	0
O_8	1	1

Таким образом, существует единственный вариант обработки каждой из деталей, что по определению соответствует табличным моделям проектирования техпроцессов.

2. Сетевая модель техпроцесса изготовления зубчатого колеса.

Технология изготовления зубчатых колес разнообразна и в общем случае предусматривает черновую обработку, получистовую, чистовую и отделку после термообработки. Все эти виды обработки могут осуществляться различным инструментом на соответствующем оборудовании. Общая модель проектирования техпроцесса, таким образом,

должна предусматривать замену оборудования и операций, но для упрощения примера такая возможность в данном случае не рассматривается.

На рис.25 показано зубчатое колесо и обозначены его поверхности: П1 – базовое отверстие со шпоночным пазом, П2 – поверхности контура, П3 – эвольвентная поверхность зубьев.

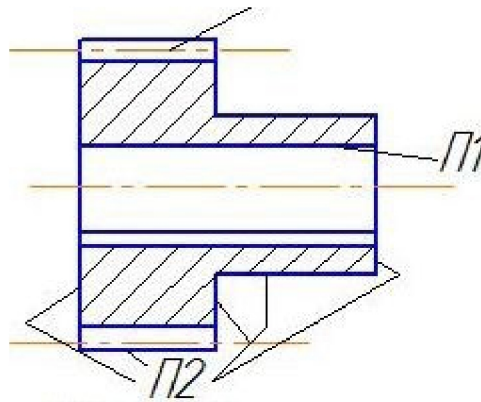


Рисунок 25. Поверхности зубчатого колеса

Техпроцесс должен содержать следующие операции:

- О₁ – получение заготовки,
- О₂ – протягивание базового отверстия,
- О₃ – черновое обтачивание контура,
- О₄ – чистовое обтачивание контура,
- О₅ – черновое нарезание зубьев,
- О₆ – получистовое нарезание зубьев,
- О₇ – чистовое нарезание зубьев,
- О₈ – термообработка,
- О₉ – отделка базового отверстия,
- О₁₀ – шлифование зубьев,
- О₁₁ – притирка зубьев,
- О₁₂ – мойка,
- О₁₃ – контроль.

Матрица сетевой модели, ставящая в соответствие поверхности и операции, представлена в таблице 8.

Матрица сетевой модели техпроцесса

$O_i \backslash P_j$	П1	П2	П3
O_1	1	1	0
O_2	1	0	0
O_3	0	1	0
O_4	0	1	0
O_5	0	0	1
O_6	0	0	1
O_7	0	0	1
O_8	1	1	1
O_9	1	0	0
O_{10}	0	0	1
O_{11}	0	0	1
O_{12}	1	1	1
O_{13}	1	1	1

В зависимости от конкретных технических условий на зубчатое колесо и условий производства кортеж операций может содержать все 13 операций. Но, например, черновое обтачивание контура может быть исключено в зависимости от качества заготовки-полуфабриката либо вследствие применения резцов Колосова. Также может быть исключена и промежуточная получистовая обработка поверхности зубьев. Точностные требования также могут повлиять на необходимость отделки базового отверстия и так далее. С учетом перечисленного ориентированный граф операций должен содержать соответствующие связи, исключаящие из техпроцессов некоторые структурные составляющие, и дающий, таким образом, несколько вариантов состава операций (рис.26).

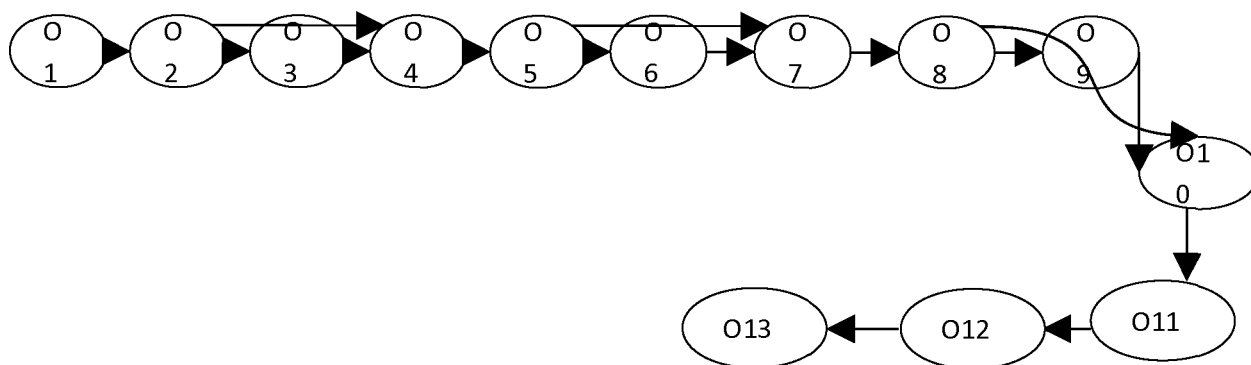


Рисунок 26. Граф сетевой модели техпроцесса изготовления зубчатого колеса

3. Перестановочная модель.

Перестановочные модели характерны прежде всего для технологических процессов сборки, отличающейся весьма значительной многовариантностью последовательности подачи элементов конструкции в стапель или сборочное приспособление для механосборки. Так, например, механосборка узла передачи крутящего момента, показанного на рисунке 27, может осуществляться в различной последовательности, насчитывающей около 10 вариантов.

Узел состоит из 7 конструктивных составляющих: 1 – шпоночный вал, 2 – стопорное кольцо левое, 3 – подшипник левый, 4 – подшипник правый, 5 – зубчатое колесо, 6 – стопорное кольцо правое, 7 – шпонка. Технология сборки должна предусматривать следующие операции: O_1 – установка вала в приспособлении; O_2 – постановка стопорного кольца 2, O_3 – напрессовка подшипника 3, O_4 – напрессовка подшипника 4, O_5 – установка зубчатого колеса 5, O_6 – постановка стопорного кольца 6, O_7 – вставка шпонки 7.

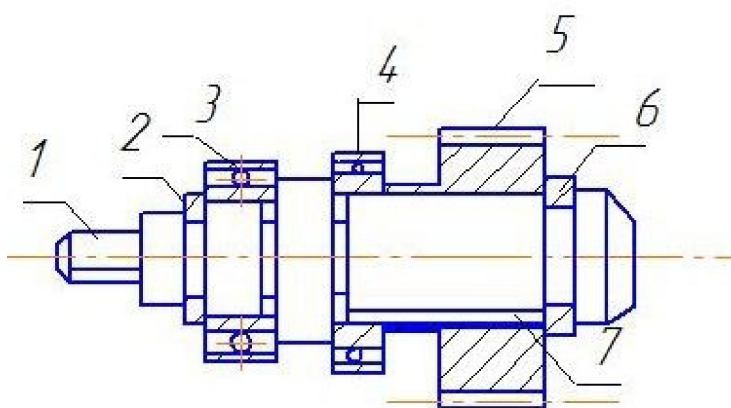


Рис.27. Узел передачи крутящего момента

Ориентированный граф перестановочной модели технологических процессов сборки должен предусматривать все возможные варианты последовательности сборки, т.е. содержать множество циклов. На рис.28 представлен граф, содержащий некоторые варианты техпроцесса сборки этого узла.

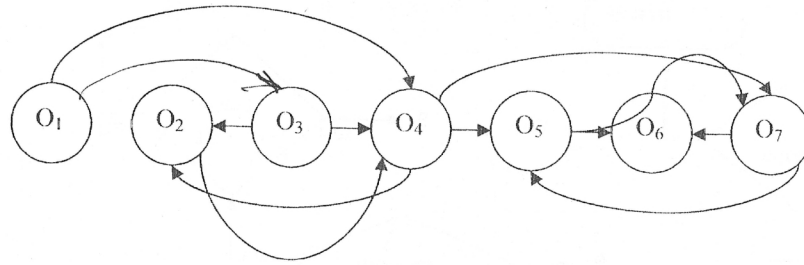


Рис.28. Граф перестановочной модели техпроцесса сборки узла передачи крутящего момента

Частичные графы, т.е. графы, содержащие заданные связи и их вершины, иллюстрируют возможные варианты техпроцесса, вытекающие из графа перестановочной модели (рис.29).

По сложности табличные, сетевые и перестановочные модели ранжируются, естественно, следующим образом: самыми сложными являются перестановочные модели, самыми простыми – табличные. Однако нельзя сказать, что сетевые модели принадлежат множеству перестановочных, да и вообще множества табличных, сетевых и перестановочных моделей не пересекаются.

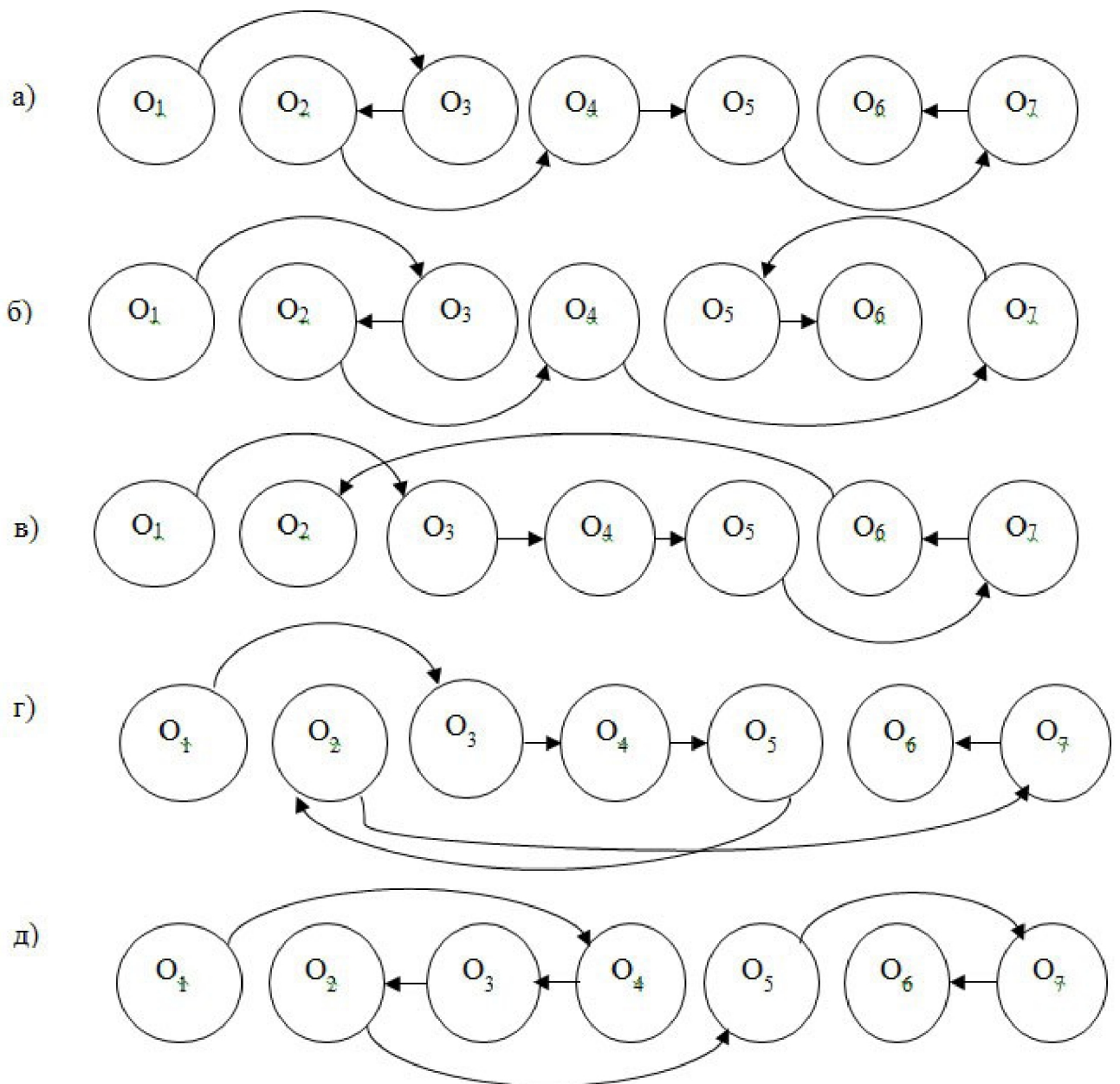


Рис.29. Некоторые частичные графы вариантов последовательности сборки узла передачи крутящего момента.

1.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ

Оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) предназначено для автоматического выполнения процесса обработки деталей в соответствии с заданной управляющей программой. Наиболее распространенным является оборудование с ЧПУ для обработки резанием – обрабатывающие центры, фрезерные, токарные станки и др. Подразумевается, что оборудование с ЧПУ состоит из станка и системы ЧПУ. Система ЧПУ обеспечивает управление исполнительными органами и узлами станка в соответствии с управляющей программой так, что в результате выполняется заданный процесс обработки.

Управляющая программа представляет собой последовательность сгруппированных в блоки инструкций, определяющих траекторию перемещения инструмента и технологические режимы обработки. Блоки управляющей программы называются кадрами. Кадры содержат команды управления перемещениями по координатам X, Y, Z, поворотом вокруг осей X, Y, Z, задания подачи, скорости и направления вращения шпинделя, смены инструмента, включения охлаждения и др.

Ручное составление управляющей программы возможно для простых деталей с двух-трёхкоординатной обработкой. При этом трёхкоординатное программирование весьма неудобно и сложно, а 4-5- координатное практически невозможно.

Для деталей с чертежами на бумажных носителях задача автоматизации разработки управляющих программ решается с помощью систем автоматизированного программирования (САП) и систем автоматизированного расчета управляющих программ (САРП) [2]. В этих системах геометрия детали или траектория инструмента описывается с помощью специального языка и по этой информационной модели формируется управляющая программа для конкретного оборудования с ЧПУ.

В настоящее время подобные системы называют САМ-системами. Информационная модель детали существует в электронном виде, так как ее конструкция разрабатывается в какой-либо компьютерной графической системе. Оператор-технолог к этой информации добавляет технологическую часть (режимы, инструмент, указывает обрабатываемые поверхности и т.д.), т.е. то, что конкретная система не в состоянии сделать сама. Затем на основе этой информации система разрабатывает так называемую расчетно-технологическую карту, где покадрово задается информация для управляющей программы. Далее с помощью операционного модуля, который называется постпроцессором, формируется управляющая программа для органов управления конкретного оборудования. При этом САМ-система, которая готовит информацию для управляющей программы в виде расчетно-технологической карты, является универсальной, а постпроцессор привязан к конкретному оборудованию, точнее к его системе управления. Необходимость в постпроцессорах обуславливается разнообразием средств автоматизации, применяемых в станках различных фирм. Конечно, существуют различные регламентирующие стандарты, в том числе и международные, но они носят неконкретный рамочный характер, поэтому путь от информации для управляющей программы, т.е. от расчетно-технологической карты, к управляющей программе конкретной

системы управления конкретным оборудованием лежит через преобразование информации с помощью постпроцессора.

Современные САМ-системы для обработки резанием обладают следующими возможностями:

- выбирают обрабатываемые поверхности;
- выбирают схемы обработки;
- выбирают режущий инструмент;
- задают режимы обработки;
- формируют оптимальные траектории движения инструмента с учетом припусков, точности, шероховатости;
- контролируют возможные столкновения инструмента с заготовкой на холостом ходу;
- не допускают случайной повторной обработки поверхностей;
- визуализируют на экране процесс обработки для оценки и контроля его со стороны оператора.

Наиболее развитые системы сопровождаются дополнительным обеспечением для контроля управляющей программы, которая появляется на выходе из постпроцессора. Это дополнительное обеспечение называется системами верификации. Система-верификатор, получив информацию от управляющей программы, описание станка, приспособления, инструмента и заготовки-полуфабриката, имитирует на экране реальный процесс обработки, где присутствуют все компоненты системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь). Это позволяет оператору проследить и предотвратить возможные столкновения инструмента, заготовки, приспособления и узлов станка.

Наиболее известными и популярными в аэрокосмической отрасли САМ-системами являются ГеММа (Россия) и модули программных продуктов КРЕДО (Россия) и Delcam (Великобритания). Многие системы, рождавшиеся как конструкторские, которые называются САД-системами, имеют модули разработки управляющих программ для станков с ЧПУ, т.е. они являются смешанными САД / САМ системами. Прежде всего, это относится к так называемым «тяжелым» системам, таким как Unigraphics, пользующейся популярностью в американской фирме Боинг, САТИА, которой придерживается Европейская Аирбас, Pro / Engineer и др.

2. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УВЯЗКЕ РАЗМЕРОВ И ИЗМЕРЕНИЯХ

Основным направлением в области совершенствования процессов сборки является создание автоматизированных систем на базе развития аппарата математического моделирования объектов и процессов производства с использованием современных средств вычислительной техники и оборудования с ЧПУ. Это означает переход от связанного (зависимого) изготовления деталей к независимому, воспроизводящему объекты с заданной степенью точности, достаточной для обеспечения взаимозаменяемости.

В настоящее время появились методы, позволяющие описывать подавляющее большинство различных вариантов аэродинамических поверхностей: фюзеляжа, gondолы двигателя, нелинейчатых и линейчатых крыльев, каналовые разветвляющиеся и неразветвляющиеся поверхности – в значительной степени автоматизировать процессы их конструирования и изготовления.

2.1. БЕСПЛАЗОВАЯ УВЯЗКА РАЗМЕРОВ В АГРЕГАТНО-СБОРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Широкое распространение аналитических методов задания обводов, автоматизация расчетов и записи программ для оборудования с ЧПУ способствовали разработке независимого метода образования форм и размеров сопрягаемых элементов конструкции, т.е. метода бесплазовой увязки (МБУ) конструктивных элементов ЛА [4].

Увязка размеров при МБУ осуществляется с помощью математической модели аэродинамической поверхности, полученной расчетным путем. Образование взаимосвязанных рабочих контуров сборочных единиц обеспечивается точным изготовлением их на станках с ЧПУ. При использовании МБУ точность увязки сопрягаемых элементов конструкции находится в прямой зависимости от точности их изготовления.

Таким образом, МБУ базируется на использовании принципов независимого изготовления деталей, математического моделирования поверхностей, а также построения управляющей информации, не зависящих от применения методов проектирования обводов изделий.

При МБУ специальные средства увязки размеров заменяются координатографами и фрезерными станками с ЧПУ в сочетании с плаз-кондукторами, инструментальными стендами и оптико-механическими средствами монтажа и контроля стапельно-сборочной оснастки. Образование взаимоувязанных рабочих контуров обеспечивается точными координатными плоскими (двухкоординатными) и пространственными (трехкоординатными и более) системами станков с ЧПУ, изготовленными на базе отработанной системы допусков и посадок. Это позволяет использовать при обработке оснастки на станках с ЧПУ стандартную координатную сетку (50x50 мм) базовых отверстий, которые обеспечивают взаимную увязку контуров оснастки. Эти же отверстия, перенесенные на детали, служат технологическими базами при сборке узлов и агрегатов координатными методами.

Станки с ЧПУ в сочетании с плаз-кондукторами объединяют в себе одновременно средство изготовления и средство увязки размеров. При этом увязка контуров обеспечивается точностью изготовления сборочных единиц на станках с ЧПУ. При использовании МБУ требуется обязательное задание аэродинамических поверхностей агрегатов типовыми аналитическими методами.

Сущность бесплазового метода изготовления и метода бесплазовой увязки заготовительной и сборочной оснастки заключается в том, что с помощью системы исходных числовых данных о геометрических формах и размерах обводов изделия, рассчитанных на ЭВМ, выдерживаются заданные допуски при расчетах, вычерчивании плазовых линий, изготовлении контуров оснастки и механообрабатываемых изделий.

Благодаря применению универсальных средств с ЧПУ МБУ размеров позволяет:

- сократить почти в 10 раз цикл и трудоемкость изготовления элементов некоторых видов оснастки, связанных с обводами;
- избежать изготовления при запуске изделия большого числа специальных средств увязки;
- расширить фронт работ;
- повысить точность изготовления и увязки оснастки;
- объединить разрозненные цепи изготовления и сборки деталей, узлов и агрегатов планера на единой расчетно-координатной основе;
- создать предпосылки для унификации технологических процессов изготовления оснастки;
- создать в сфере подготовки производства систему расчета и записи управляющих программ для всего оборудования с ЧПУ.

Заготовительная и сборочная оснастки, связанные с теоретическими контурами, подразделяются по координатному принципу на плоскую оснастку с рабочим контуром, имеющим постоянную или переменную малку, и объемную оснастку с поверхностями одинарной или двойной кривизны.

Так как внешние обводы задаются аналитически, применение МБУ и средств бесплазменной увязки распространяется на элементы оснастки, связанные с теоретическими контурами изделий. Контроль геометрических параметров обводообразующей оснастки осуществляется различными методами с применением различных средств контроля.

Появление интегрированных CAD/CAM/CAE-систем автоматизированного проектирования, изготовления и инженерного анализа позволяет инженерам аэрокосмической техники выполнять электронное описание объекта производства с точностью 1—3 мк с применением принципа трехмерной параметризации.

Сущность параметризации состоит в том, что деталь выполняется в компьютерной сборке как объект не с конкретно заданными размерами, а с взаимосвязанными параметрами, при изменении одного из которых происходит перестроение всей детали. Применение принципа параметризированной модели позволяет выполнять модифицирование огромных сборок объекта производства в течение нескольких часов и ограничивается только возможностями компьютерной техники.

Процесс моделирования конструкции начинается с создания математической модели поверхности или геометрической модели изделия.

Под геометрической моделью (ГМ) поверхности понимают совокупность математического описания поверхности данного типа и полного набора координат и геометрических характеристик элементов, однозначно определяющих принадлежность данной поверхности точке пространства. Геометрические модели могут быть представлены как в виде жесткой неизменяемой модели, так и в параметризованном виде. В зависимости от выполняемых функций описание поверхности может быть представлено в виде каркасной или поверхностной модели либо в виде твердого тела. Как правило, на геометрической модели изделия наносится конструктивно-силовая схема (КСС), представляющая реальную разбивку осей шпангоутов, стрингеров и других силовых элементов.

В реальном производстве применение электронной геометрической модели позволяет отказаться от изготовления дорогостоящих макетов поверхности, использования метода слепков для изготовления рабочих болванок и штампов и перейти к выполнению обводообразующей и плазово-шаблонной оснастки методами с использованием станков с числовым программным управлением. В этом случае цикл подготовки производства сокращается на три-шесть месяцев, улучшается увязка и точность оснастки.

Пример геометрической модели головной части фюзеляжа самолета, выполненной на основе программного комплекса Unigraphics, представлен на рисунке .30.

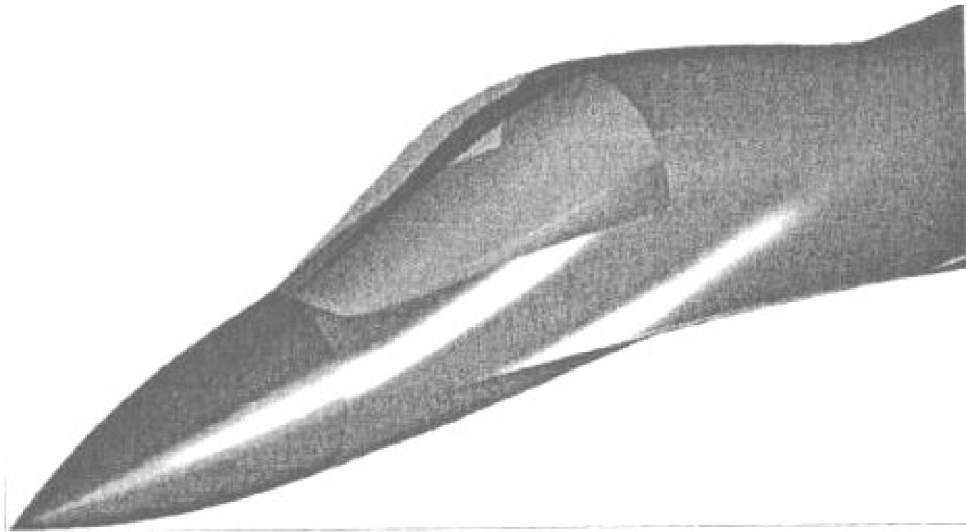


Рис.30. Геометрическая модель головной части фюзеляжа самолета.

Выполнение математических геометрических моделей при подготовке производства стало одним из первых применений вычислительных машин. И только по мере роста производительности быстродействующих компьютеров появилась возможность выполнения трехмерных электронных макетов сборок и агрегатов.

Электронный макет (ЭМ) – это электронное представление элемента конструкции, предназначенное для решения позиционных, топологических и других задач, возникающих при проектировании и производстве. ЭМ является носителем геометрических параметров детали изделия и определяет их взаимное расположение между собой в сборке и привязку к базовым осям и плоскостям.

Электронный макет представляет собой увязанную в пространстве виртуальную конструкцию (рис.31), выполняемую с точностью, как правило, 0,001—0,003 мм в одной из систем компьютерного проектирования. Принято выделять электронные макеты деталей и сборок. Очевидно, что использование электронного макета детали для следующих операций технологического цикла целесообразно после увязки детали в окружении сборки. Только в этом случае существует гарантия правильности и собираемости сборки. Поэтому большинство современных систем компьютерного проектирования ориентировано именно на выполнение сборок.

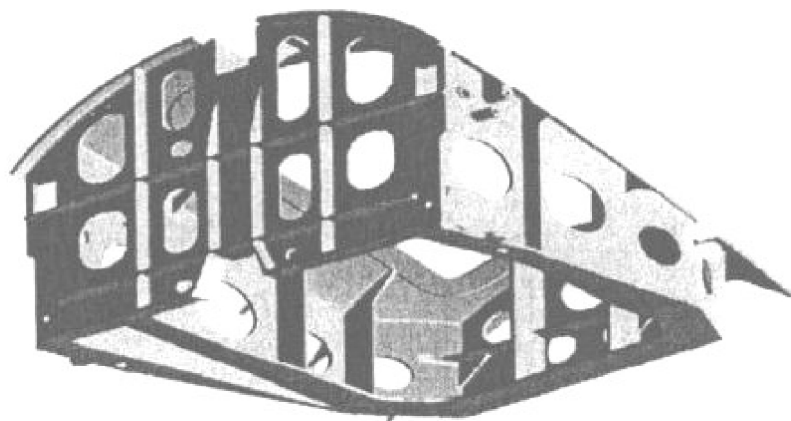


Рис.31. Электронный макет

Электронные макеты принято разделять на конструкторские (собственно ЭМ) и технологические (ТЭМ). Конструкторский электронный макет обычно создается разработчиком изделия и точно отражает все нюансы конструкции. Технологический электронный макет детали отражает условия ее поставки на сборку (стыковочные отверстия выполнены предварительно, даны технологические отверстия, учтены припуски на подгонку детали в сборке и т.п.) и, как правило, создается конструктором-разработчиком специальной технологической оснастки. Аналогично принято выделять технологические макеты отливки, поковки, штамповки, так как данные заготовки имеют значительные отличия от аналогичных деталей: наличие припусков, базовых элементов для фиксации в приспособлениях для последующей обработки.

ТЭМ под сборки отражает принцип технологического членения агрегата для удобства и сокращения цикла сборки и может не соответствовать конструкторскому макету. Главное назначение технологического макета – проектирование специальной оснастки, подготовка программ ЧПУ для выполнения рабочих элементов приспособлений и т.п.

Электронная сборка – упорядоченный набор ЭМ, описывающий конструктивный состав изделия (рис.32).

Создание трехмерного виртуального макета изделия требует значительных затрат труда инженеров-конструкторов. Практические работы по созданию ряда макетов агрегатов показывают, что затраты времени на их создание примерно в 1,9 раза выше, чем на выпуск чертежей. Но это и понятно, ведь компьютерный макет изделия несет на порядок больше информации, чем чертеж.

Трехмерный электронный макет позволяет добиться результатов, в принципе невозможных при использовании плазово-шаблонного метода и частично достигаемых при использовании дорогостоящих объемных плазов. К основным преимуществам использования виртуального макета следует отнести возможности:

- увязки в пространстве сложных сборок с высокой точностью (увидеть и исправить неувязки до выпуска чертежей и изготовления первого изделия);
- компьютерного моделирования технологических процессов изготовления деталей (литье, штамповка, сборка и т.п.);

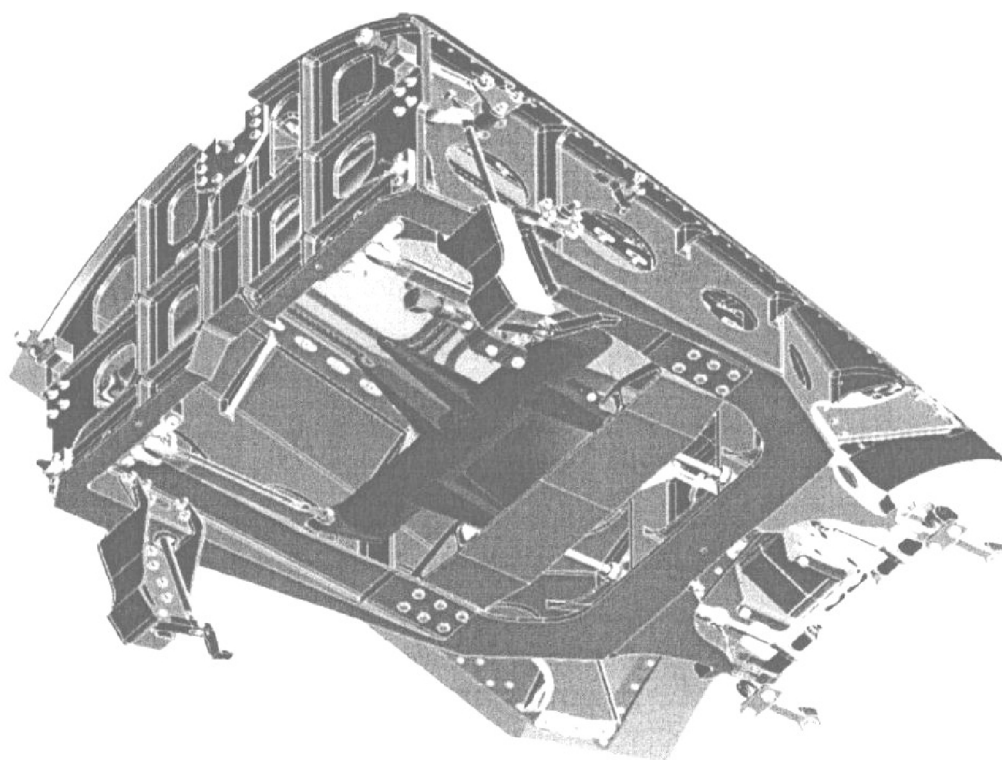


Рис.32. Электронная сборка

- инженерного анализа созданной сборки (выполнение проверки на прочность, кинематики движения рабочих органов);
- применения специальных методов контроля на основе координатно-измерительных машин и других методов объективного контроля;
- исключения дополнительных затрат на изготовление увязочной оснастки, такой как плаз, макет поверхности, эталон.

При создании трехмерного виртуального макета изделия чертежи изделия играют роль документации второго порядка. Обязательное условие в этом случае – полная ассоциативность чертежа и макета. Нарушение данного принципа приводит к неувязкам и браку в производстве и сводит на нет все преимущества электронного макета. Практически это достигается выпуском чертежей в той же программной среде, где создается макет. Современные системы автоматизированного проектирования позволяют выполнять выпуск чертежей автоматически с трехмерного макета. Конструктору остается для завершения оформления чертежа задать допуски и технические условия для изготовления деталей.

Развитие САПР в настоящее время позволяет выполнять не только виртуальные сборки, но и трассировку в электронном виде жгутов электропроводки и трасс труб. Электронный макет с компоновкой блоками и трассами труб и жгутов получил название «электронная компоновка» (ЭК) – совокупность взаимоувязанных электронных макетов каркаса, оборудования и трасс коммуникаций. Виртуальная компоновка обеспечивает решение позиционных, топологических и других задач, возникающих в процессе предварительной работы над вновь создаваемым или модернизируемым изделием и на стадии рабочего проектирования, оперативное принятие решений при отработке первых изделий, сопровождение и отражение изменений на всем жизненном цикле изделия.

Очевидно, что электронная компоновка является дальнейшим развитием электронного макета. Для выполнения компоновки необходимо наличие электронного каркаса изделия и электронных макетов блоков и других комплектующих изделий. Причем макеты комплектующих изделий должны быть смоделированы по определенным принципам для уменьшения объема файлов и удовлетворения требованиям модулей трассировки системы компьютерного проектирования. С учетом того, что выполнение электронной компоновки требует значительных ресурсов памяти компьютеров, обычно применяют габаритно-поверхностные макеты покупных комплектующих изделий (ПКИ), т.е. без выполнения внутренней «начинки» блока. Нормализованные элементы (болты, винты, разъемы и т.п.) выполняют в виде отдельных файлов, как правило, из базы стандартных элементов системы. В целях дальнейшего сокращения объема файла компоновки применяют упрощенные каркасы изделия.

Большинство систем компьютерного проектирования, изготовления и инженерного анализа (систем CAD/CAM/CAE) подразумевают использование специальных модулей трассировки труб, жгутов с собственными библиотеками типовых элементов. В отсутствие данных библиотек выполнение трассировки возможно в основных блоках моделирования.

Одной из возможностей перехода на использование электронного описания объекта является метод электронных плазов. В этом случае сохраняются основные принципы системы плазовой подготовки производства, но достигается сокращение объема плазовой оснастки, приобретаются новые возможности для повышения качества увязки и точности выпуска комплекта шаблонов.

Как известно, при плазово-шаблонном методе последовательная схема увязки и изготовления шаблонов требует значительных затрат времени на подготовку производства и высокой точности выполнения ручных операций. Эти недостатки можно устранить, если плазовое прочерчивание выполнить не ручным способом на металлических заготовках, а с помощью «плоских» систем компьютерного проектирования по правилам, характерным для ручного прочерчивания. В этом случае выполнение плазов в металле теряет всякий смысл, так как электронный плаз позволяет выполнить работы гораздо быстрее и точнее.

Для рабочих шаблонов в этом случае выполняются отдельные файлы на основе файлов плазов, изготовление шаблонов может производиться на станках с ЧПУ (фрезерных или

лазерных) или прочерчиванием рабочих контуров шаблонов на оборудовании с ЧПУ и последующим ручным изготовлением. Контроль изготовленных шаблонов возможен с использованием координатно-измерительных машин (КИМ) на основе исходного файла шаблона.

К преимуществам данного способа подготовки производства изделий следует отнести сокращение времени на выполнение прочерчивания и контроля работ на экране ЭВМ с использованием широких возможностей программного обеспечения, сокращение номенклатуры шаблонов при изготовлении методами ЧПУ и контролем на КИМ, легкость передачи и точного повторения плазовой информации (например, для осуществления лицензионного производства), возможность применения файлов плазов для проектирования комплекта оснастки, отсутствие складских помещений для хранения габаритных физических плазов.

Кроме того, имеется реальная возможность без больших затрат выполнить объемную увязку плазов, что очень трудоемко при плазово-шаблонном методе. Для достижения этой цели необходимо транслировать плазовые сечения в систему трехмерного проектирования, увязать их с осью симметрии и строительной горизонталью с учетом дистанции и проверить плановые и осевые проекции на соответствие теоретическим обводам. Трудоемкость выполнения данной увязки в пространстве в 50-100 раз меньше объема работ при выполнении увязки ручных плазов.

Применяемый ранее да и в настоящее время в производстве плазово-шаблонный метод основан на принципе последовательного выполнения этапов подготовки производства, что наряду с невысокой точностью является одним из его главных недостатков. Используемая схема: чертеж – конструктивный плаз-шаблон – эталон-оснастка приводит к затягиванию сроков подготовки производства.

Для ускорения выхода продукции на рынок используется принцип параллельного инжиниринга на основе метода трехмерной мастер-модели. В основе принципа мастер-модели лежит использование трехмерного электронного макета детали, прошедшего увязку в окружении сборки, как единого носителя геометрии и топологии конструкции для всех последующих разработок специальной технологической оснастки одновременно: шаблонов, приспособлений, штампов, рабочих болванок, пресс-форм, сборочных приспособлений и т.п. В результате электронная модель дает возможность параллельного выполнения работ всеми участниками подготовки производства, причем эти участники могут быть разделены тысячами километров. Сегодня передовые зарубежные фирмы открыто демонстрируют разработку сложных технических изделий конструкторами фирм, находящихся в разных странах: Германии, Голландии, Японии и т.д., с использованием Интернет-каналов. Такие процессы и получили название параллельного инжиниринга. Именно параллельное выполнение работ служб сокращает сроки подготовки производства изделий в 2 – 3 раза по сравнению с традиционными методами и позволяет не только ускорить выход продукции на рынок, но и, используя специальные методы фотореалистических изображений модели, осуществлять рекламные кампании до реального появления продукции.

Методы использования мастер-модели позволяют значительно сократить затраты на постановку производства. Практически полностью отпадает необходимость в увязочной оснастке. Если электронные макеты деталей увязаны в сборке, полностью отпадает необходимость выполнения плоских и объемных плазов. Изготовление шаблонов выполняется непосредственно с виртуального макета детали, а при наличии на предприятии координатно-измерительной техники технологический процесс изготовления оснастки может быть построен без использования шаблонов. Особенно большие затраты несет за собой изготовление объемных плазов для отработки трасс жгутов и труб. Применение методов отработки трасс трубопроводных систем на электронном макете дает не только сокращение затрат и сроков, но и значительно уменьшает количество вопросов при отработке первых изделий.

Наличие виртуального оцифрованного макета детали позволяет использовать его для ускорения проектирования специальной оснастки. Использование геометрии с единого математического источника гарантирует увязку оснастки с высокой точностью, которая определяется только точностью оборудования, применяемого для изготовления геометрических элементов оснастки.

При использовании трехмерных электронных макетов значительно упрощается контроль изготовленных деталей и элементов оснастки. Наличие координат любой точки макета позволяет выполнять вычисление любых заданных размеров и проверку поверхностей.

Важным преимуществом электронного макетирования является возможность предварительной отработки технологических процессов изготовления деталей. В настоящее время компьютерные системы инженерного анализа позволяют выполнять полную имитацию основных производственных процессов: листовой штамповки (гибка, глубокая вытяжка, формовка), черного и цветного литья в формы, формообразования пластмассовых изделий,ковки и объемной штамповки и т.д. Отработка технологических процессов идет по электронной модели детали. Причем варьирование параметров технологического процесса позволяет получать значения утонения при деформировании, места разрывов, величину ожидаемого коробления и перегревов. Безусловно, это открывает перед технологами возможности быстрой оценки количества переходов операционных процессов, разработки технических требований к специальной технологической оснастке, своевременное предупреждение брака.

Особенно наглядно происходит проверка кинематики работы механизма. При выполнении увязки таких агрегатов, как створки и стойки шасси, обеспечение требуемых зазоров при движении рабочих механизмов является одной из наиболее сложных задач. На проверку данных зазоров при использовании плазово-шаблонного метода требуются месяцы напряженного труда конструктора-плазовика. В случае использования методов трехмерного моделирования этот процесс заключается лишь в задании правил движения рабочих органов механизма и проверки зазоров в контрольных положениях. Результаты проверки выдаются наблюдателю в виде компьютерной анимации с возможностью получения диаграмм зазоров.

С внедрением бесплазового метода увязки встает вопрос о контроле деталей, узлов, агрегатов и оснастки, выполненных по трехмерным электронным моделям, так как традиционный контроль по шаблонам становится неактуальным. Методы контроля должны обеспечивать автоматизированный анализ геометрических параметров и возможность внесения корректировок в систему автоматизированного расчета и записи управляющей информации для станков с ЧПУ в целях повышения точности изготовления и сборки.

Указанным требованиям отвечают сравнительно новые методы контроля обводообразующих элементов конструкции самолета:

- с помощью координатно-измерительных систем и систем лазерного сканирования;
- лазерно-оптические методы;
- голографический метод;
- метод фотограмметрии.

2.2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В настоящее время в отечественном авиакосмическом производстве широко используются контрольно-измерительные машины (КИМ) различного типа [4]. Они применяются для контроля обводообразующих элементов заготовительно-штамповочной оснастки, различных форм болванок, обтяжных пуансонов, эталонов поверхности и т.д. Использование КИМ позволяет оперативно измерять геометрические параметры простых и сложных прецизионных деталей, включая корпусные, измерение которых традиционными способами требует дорогостоящей специальной оснастки или невозможно вообще; сокращать время на наладку обрабатывающих станков, центров и модулей за счет быстрого и достоверного контроля первых обработанных деталей из последующей партии; исключать брак, используя постоянный контроль точности процесса обработки деталей, и своевременно корректировать его.

Многие детали аэрокосмической техники имеют достаточно сложную пространственную форму. К ним относятся элементы силовой конструкции (лонжероны, стрингеры, нервюры, панели), которые задают сложные аэродинамические обводы (так называемые обводообразующие элементы). Контроль обводообразующих элементов детали заключается в

определении координат отдельных точек поверхности или контура и последующем сравнении полученных значений с заданными.

Точность повторения обводов зависит от количества измеренных точек. Ранее считалось достаточным измерять геометрическую фигуру только по нескольким точкам на поверхности изделия. Как правило, внешний цилиндр измерялся лишь по четырем-восьми точкам, причем допускались большие интервалы между точками. Это приводило к большому числу погрешностей.

Выборочно найденные четыре точки на внешнем контуре не могут дать верную информацию о размере детали. Детали с отклонением в размере не могут точно соответствовать фактическому шаблону. Определенную точность может гарантировать измерение по принципу контактного сканирования.

Технология сканирования позволяет за один раз захватывать 1000 и более точек. Необходимым условием успешного использования технологии сканирования является компетентный оператор, который может определить допуск данных, плотность расположения точек, начальную и конечную точки, оценить графические данные, которые обычно показаны на чертеже.

Во многих случаях измерение всех деталей, включая определение отклонения формы, могут производиться автоматически одной координатно-измерительной машиной. Это позволяет уменьшать цены, экономить время и получать лучшие результаты.

Сегодня на смену плазово-шаблонному методу пришел новый метод обеспечения контроля – бесшаблонный (бесплазовый), при котором частично или полностью отказываются от физических носителей форм и размеров. В этом методе первоисточником является трехмерная электронная модель (макет) объекта, агрегата или узла, выполненная с помощью компьютерной графики.

С внедрением нового, бесшаблонного способа увязки встает вопрос о контроле деталей и оснастки, выполненной по трехмерным электронным моделям, так как традиционный контроль по шаблонам становится неактуальным. Хотя совершенно отказываться от этих принципов не стоит, ведь контроль простых плоских необводаобразующих деталей, таких как прокладки, накладки, фигурные шайбы, может по-прежнему осуществляться с помощью обычных универсальных средств (штангенциркуля, микрометра) или по шаблону.

В последнее время для ускорения выхода продукции на рынок используется принцип параллельного инжиниринга на основе метода трехмерной мастер-модели.

В основе принципа мастер-модели лежит использование трехмерного электронного макета детали, прошедшего увязку в составе сборки, как единого носителя геометрии и топологии конструкции для всех последующих разработок специальной технологической оснастки.

При использовании трехмерных электронных макетов значительно упрощается контроль изготовленных деталей и элементов оснастки. Макет представляет собой трехмерное изображение математической модели, описанной в пространстве в виде координированных поверхностей, линий, точек. Наличие координат любой точки макета позволяет выполнять вычисление любых заданных размеров и проверку поверхностей с помощью координатно-измерительных машин.

Методы контроля должны обеспечивать автоматизированный анализ геометрических параметров обработанной оснастки и позволять вносить коррективы в систему автоматизированного расчета и записи управляющей информации для станков с ЧПУ в целях повышения точности изготовления оснастки.

Точностные требования к методам и средствам контроля оснастки должны соответствовать точности автоматизированного изготовления оснастки на оборудовании с ЧПУ.

Общий принцип действия координатно-измерительных машин состоит в том, что объект измерения сканируется по точкам специальным датчиком, который по стандартам координатной метрологии именуется щупом. Во время каждого контакта фиксируются координаты точки контакта для компьютерного анализа. Механическое сканирование при этом возможно лишь для жестких материалов, более универсальным, но менее распространенным

является бесконтактное сканирование. Если в качестве сравниваемого номинала поверхности используется электронная CAD-модель, то оператор имеет возможность задавать контролируемые участки поверхности и сравнивать полученные измерением данные с объемной компьютерной моделью. Результаты сканирования могут использоваться также для создания электронной модели измеренной поверхности, что может послужить для восстановления утраченных макетов, шаблонов, чертежей, управляющих программ для станков с ЧПУ и т.д. Точность сканирования составляет до 5...10 мкм даже при оцифровке крупных объектов, таких как автомобиль или самолет.

В качестве перспективных развивающихся методов контроля и измерений можно назвать голографию, фотограмметрию, ультразвуковые методы. В голографии базой отсчета является эталонный объект. Сравниваются голограммы эталона и контролируемого объекта, при этом голограмма-эталон может быть как электронно-виртуальной, искусственно созданной, так и отражением реальной жесткой поверхности.

Фотограмметрия (плоская и стерео) использует для измерений фотоснимки объекта в разных ракурсах, по которым выполняется плоская либо объемная компьютерная модель. Эта модель сравнивается с теоретической электронной моделью конструкции, создаваемой на этапе разработки изделия.

Ультразвуком можно измерять расстояния, а, соответственно, и геометрию объекта. Применительно к обследованию геометрии изделий аэрокосмической техники речь идет о сложных изменяющихся в пространстве поверхностях, например, ступенчатой формы. Сканер должен быть миниатюрным и ориентироваться по нормали к поверхности- этому требованию отвечает ультразвуковой датчик в иммерсионной среде.

Кроме измерения изделий в производстве аэрокосмической техники важное место занимает измерение точности сборочных ступеней, точности выставления эталонов, макетов, калибров в стапелях. Для этих целей широко применяются лазерные и оптические средства измерений и контроля. Технологические процессы сборки, стыковки предусматривают использование оптимальных конструкций ступеней, стандов, что может быть достигнуто лишь при параллельном проектировании как самого сборочно-стыковочного технологического оснащения, так и лазерной измерительной системы в рамках соответствующего этапа жизненного цикла изделий, предусматриваемого идеей CALS (ИПИ)-технологий.

3. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе создания технических изделий широкое применение находят их физические прототипы. Быстрое прототипирование является актуальным как на этапе конструирования, так и в производственном цикле [5]. Наличие прототипа позволяет наглядно оценить результаты геометрического моделирования, проанализировать параметры изделия, воспользоваться прототипом на этапах изготовления изделия, например, при литье по выплавляемым моделям. В технологической подготовке производства возможно избежать затрат на технологическую оснастку, выполняемую по традиционной технологии со значительными затратами времени и финансовых средств, так как прототипирование реализует быстрый процесс изготовления оснастки с минимальными затратами. Для реализации быстрого прототипирования в настоящее время созданы специальные установки с ЧПУ, разработано соответствующее программное обеспечение, подготовлены форматы обмена информацией с сопутствующими системами автоматизированного проектирования. Прототип можно изготавливать различными способами, например, такими, как стереолитография, LOM-технология, с помощью термопринтера, ускоренного фрезерования и т. д. Технологии всех методов прототипирования строятся на непосредственном использовании электронных моделей изделия. Так для стереолитографии и LOM-технологии с помощью специального интерфейса, который полностью интегрирован с системами сквозного проектирования, предварительно создаётся промежуточный файл в формате STL, что позволяет получить доступ ко всем популярным платформам стереолитографических систем, например фирм 3D Systems или Stratasys. При этом сохраняется полная целостность данных. Данные STL-файла также могут быть использованы для механической обработки по LOM-технологии, например фирмы HELISYS. При создании прототипов способом ускоренного фрезерования (гравирования) используется также геометрическая модель изделия, разработанная в какой-либо САД-системе. Структурная схема процессов прототипирования приведена на рис 33.

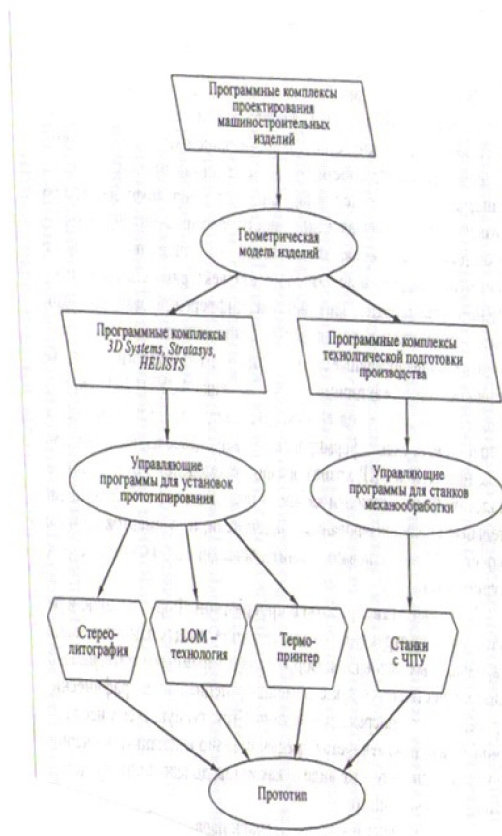


Рис. 33. Обобщённая структурная схема прототипирования

Стереолитография. В процессе обработки данных STL-файла на стереолитографической установке геометрическая модель изделия последовательно представляется набором тонких слоёв толщиной 50...150 мкм. В основе процесса стереолитографии лежит принцип послойного наращивания изделий путём полимеризации жидкого фотополимера под воздействием УФ-излучения лазера. Послойное наращивание включает в себя следующие основные этапы (рис. 34):

- в соответствии с очертаниями текущего контура изделия луч лазера прорисовывает очередной слой на поверхности жидкого полимера, залитого в ванну установки, полимер отверждается только там, где прошёл лазерный луч;
- платформа с формируемым прототипом погружается в полимер на толщину слоя;
- поверхность ванны снова покрывается тонким слоем жидкого полимера;
- лазер засвечивает следующий слой полимера и т. д.

Процесс повторяется автоматически до полного изготовления прототипа.

На стереолитографической установке прототип может быть получен за несколько часов. Габаритные размеры ванн, выпускаемых фирмой 3D Systems установок составляют до 500x500x500 мм. Точность моделей 0.1 мм.

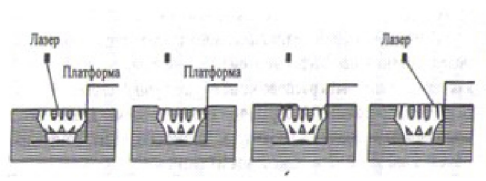


Рис. 34. Схема послойного наращивания изделия по технологии стереолитографии

LOM- технология. После загрузки STL-файла в LOM-систему с помощью специального программного обеспечения этой системы геометрическая модель изделия разделяется на множество слоёв по одной из осей, например, по высоте. Установка начинает процесс наращивания изделия, подавая слой бумаги и скрепляя его с предыдущим слоем. Затем лазер вырезает контур этого слоя и размечает излишки материала. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут построены и скреплены все слои. После этого можно удалить излишки бумаги и получить готовый бумажный прототип (рис. 35).

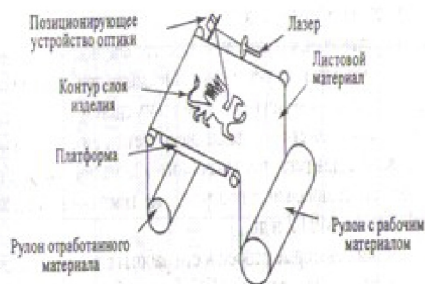


Рис. 35. Схема послойного наращивания изделия по LOM-технологии.

Максимальные габариты изделия: длина – до 800 мм, ширина – до 560 мм, высота – до 500 мм. Максимальная масса – до 200 кг. Система ламинирования подачи бумаги имеет следующие характеристики: температура горячего валика – 70...400 °С, сжатие – до 18 кг, совместимость с бумагой и другими рулонными материалами, покрытыми термочувствительным клеящим слоем, толщина материала 0,076...0,2 мм.

Формообразование трехмерного прототипа с помощью термопринтера. Эта новейшая технология разработана фирмой 3D Systems . Принцип действия термопринтера напоминает струйный принтер, но в качестве рабочей смеси используются термополимерные материалы. Трехмерный твердотельный прототип строится последовательным наращиванием изделия в соответствии с моделью. Головка принтера содержит 352 сопла, что позволяет обеспечить очень высокое качество поверхности.

Ускоренное фрезерование прототипа из мягких материалов. Для создания прототипов способом ускоренного фрезерования используются сравнительно недорогие мягкие материалы типа пластмасс, пенопласта, дерева и т. п. Применение этих материалов позволяет существенно сократить время фрезерования при изготовлении прототипа. В качестве базовой модели используется компьютерная модель изделия, которая передается в подсистему технологической подготовки производства. С помощью этой подсистемы выбираются из базы данных или проектируются инструменты, назначается станок, разрабатывается технология изготовления. Затем автоматически создается программа для выбранного станка с ЧПУ и выполняется контроль спроектированного процесса механообработки. Точность позиционирования инструмента зависит от марки оборудования и может составлять несколько микрон.

Послойный синтез. На рубеже веков началось интенсивное развитие технологий послойного синтеза – селективного лазерного спекания и селективного лазерного сплавления металлических порошков. Вследствие высоких технологических возможностей лазерные технологии послойного синтеза по сравнению с традиционными способами обработки имеют всевозрастающее значение. В перспективе реализованная технология послойного синтеза из металлических порошков позволит изготавливать функциональные ответственные, трудоёмкие сложной формы детали в высокотехнологичных отраслях промышленности практически без технологической подготовки производства, реализуя преимущества порошковой металлургии и точности оборудования с ЧПУ.

Данный метод – это нанесение металла, основанное на использовании систем CAD, CAM, промышленных лазеров и порошковой металлургии для создания уникальных процессов по получению объектов практически готовой формы. Процесс предусматривает транслирование трёхмерных объектов в послойную картину обрабатываемой детали. В луч промышленного лазера впрыскивается металлический порошок, что и создаёт основу данной технологии нанесения расплавленного металла на объект.

Преимуществом данной технологии является возможность нанесения последовательных слоёв металла на поверхность сложной формы с минимальной теплопередачей, а также возможность смешивания различных материалов для создания уникальных сплавов, которые недоступны в традиционной серийной технологии. Наиболее важным компонентом и одновременно преимуществом данной технологии является низкое тепловое влияние, что делает данный

процесс весьма привлекательным. Послойный синтез – технология, которая позволяет получить детали почти готовой формы с размерной точностью 0,1 мм.

Другим вариантом послойного синтеза является следующая последовательность:

-насыпается слой металлического порошка толщиной 0.1 мм;

-частицы сплавляются друг с другом электронным лучом;

-насыпается новый слой порошка;

-процесс повторяется до полного изготовления детали.

Электронный луч управляется магнитными полями, процесс происходит в вакууме.

В ОАО НИАТ разработана установка контурного послойного синтеза с параметрами, превосходящими зарубежные аналоги по производительности в 2 раза, по точности обработки в 2.5 раза. Меню графического редактора позволяет редактировать поверхности и тела, предназначенные для прототипирования.

Разумеется, что обязательным условием применения технологий послойного синтеза является разработка конструкций деталей в CAD-системах. К настоящему времени областью применения данной технологии считается производство формообразующей оснастки по модели-прототипу детали, в перспективе ставится задача изготовления деталей, устанавливаемых на реальное изделие.

4. ОБЗОР САПР ТП МАШИНОСТРОЕНИЯ

Системы автоматизированного проектирования техпроцессов отличаются большим разнообразием, так как реализуют различные методы автоматизированного проектирования, но тем не менее имеют одинаковую принципиальную структуру, показанную на рис. 36.

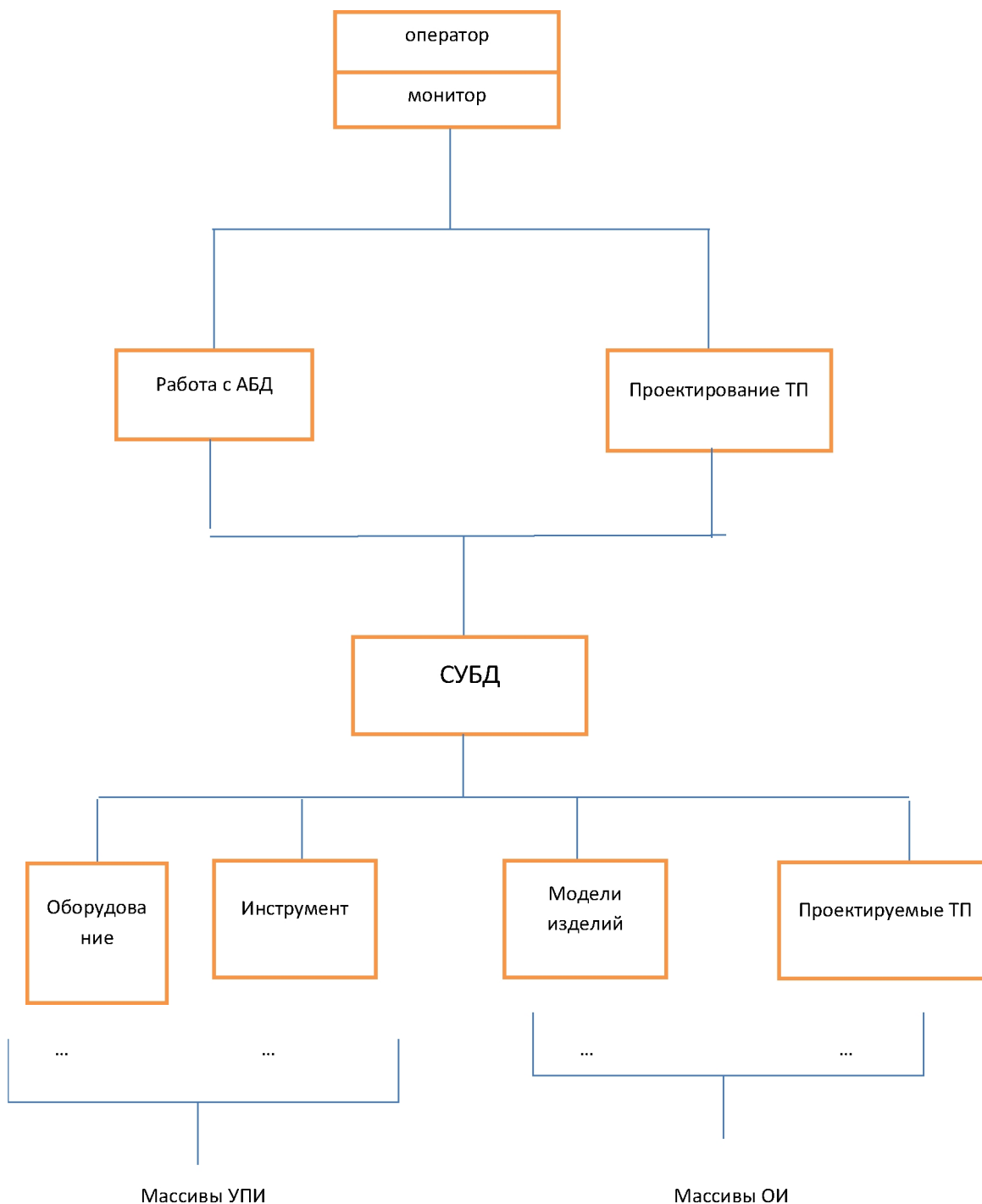


Рис. 36. Принципиальная структурная схема САПР ТП.

Оператор пользуется системой в двух режимах: либо он работает с администратором базы данных (АБД) над массивами условно-постоянной информации (УПИ), либо проектирует технологический процесс, пользуясь как оперативной информацией (ОИ), так и постоянной. Массивы условно-постоянной информации содержат сведения об оборудовании, инструменте, материалах, справочные данные, стандарты предприятия и т. д. Работа с ними сводится к их просмотру, пополнению, исправлению, удалению и т. п. Программное обеспечение для предоставления таких услуг оператору, то есть для сервиса, называется АБД. Программное обеспечение, осуществляющее команды оператора через АБД, называется системой

управления базой данных (СУБД). СУБД является единой системой и для работы с УПИ, и для работы с ОИ.

При знакомстве с той или иной системой для её приобретения, при продаже системы производится её презентация, рассматриваются или предоставляются к рассмотрению некоторые сведения – компоненты презентации программного продукта.

Во-первых, это функциональное представление системы, где оговаривается логическая последовательность решаемых задач при проектировании технологии, показываются возможности системы с точки зрения состава выполняемых функций.

Во-вторых, рассматривается техническое обеспечение, средства вычислительной техники, необходимые для эксплуатации системы, их минимальная конфигурация.

В-третьих, показывается информационное обеспечение, состав базы данных, удобство обслуживания массивов со стороны оператора, наполненность базы условно-постоянной информацией и оперативной информацией.

В-четвёртых, это сведения о методическом обеспечении, о составе инструкций по обслуживанию и использованию, лингвистическое обеспечение при методе адресации, язык описания системы.

В-пятых, это программное обеспечение, сведения о том, в какой среде система работает, совместимость системы с другими популярными или уже приобретёнными и эксплуатируемыми программными продуктами.

4.1 СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ САПР ТЕХПРОЦЕССОВ

Под специализированными САПР ТП подразумеваются системы, разработанные в аэрокосмической и для аэрокосмической отрасли. Такие программные продукты разрабатываются в отраслевых технологических институтах, на предприятиях, в вузах аэрокосмического профиля, других организациях.

В качестве одной из первых систем, получивших широкое распространение особенно на авиационных заводах, можно назвать **САПР ТП ХШ (холодной штамповки)**, разработанную в Куйбышевском филиале НИАТ преимущественно для номенклатуры листоштамповочного производства при изготовлении самолёта ТУ-154. Эта система реализует метод адресации для разнообразных по конструкции деталей, получаемых холодной штамповкой из листовых заготовок. И хотя ныне разрабатываемые системы носят более универсальный характер, необходимо отдать должное внимание этому классическому для метода адресации примеру.

Функциональное представление системы проиллюстрировано схемой на рис. 37.

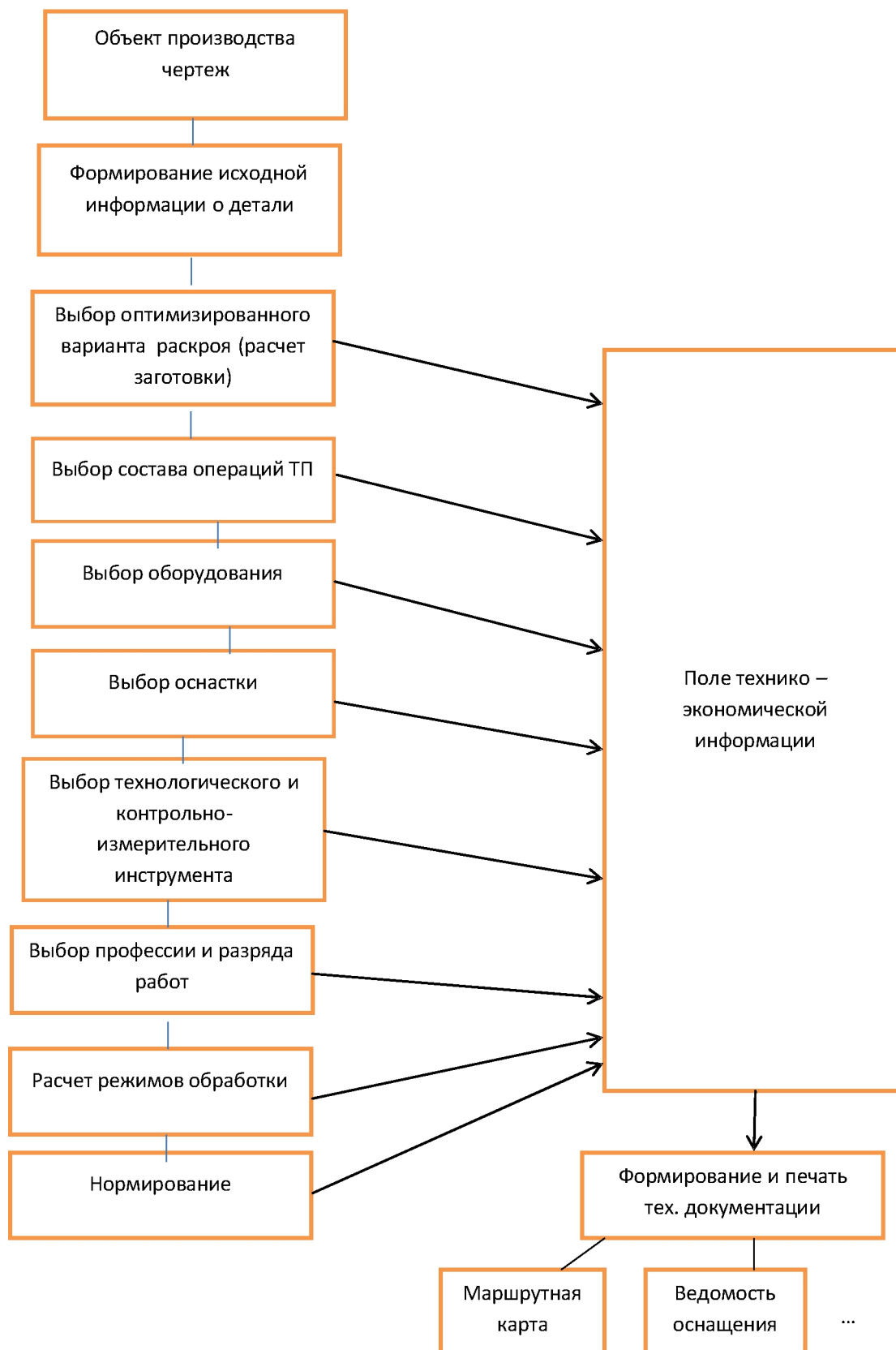


Рис. 37. Функциональное представление САПР ТП XIII.

Исходным документом для проектирования является чертёж, документ ручного пользования, так как система создавалась тогда, когда конструкции разрабатывались только вручную. По чертежу оператор готовил информационную модель детали, формируя карту исходной информации с обязательными для заполнения полями и полями, рекомендуемыми для заполнения. Впоследствии эта процедура была заменена на так называемый строчно-языковый

метод с разделителями и идентификацией реквизитов, о чём пойдёт речь несколько ниже. Получив информацию о детали, система последовательно выполняет ряд действий. Сначала производится расчёт заготовки и выбирается вариант раскроя листа и его сортамент. Далее из унифицированного техпроцесса выбираются операции, необходимые для изготовления данной детали. При этом, следуя традициям мелкосерийного авиационного производства, разрабатывается только маршрутная карта без рассмотрения переходов внутри операций. Затем назначается оборудование, технологическое оснащение, инструмент для изготовления детали и для контроля. В заключение выбираются профессии и разряды работ на каждую операцию, рассчитываются режимы и нормы времени. Накопленная в результате этих действий технико-экономическая информация преобразуется в технологическую документацию соответствующего вида, то есть в соответствии со стандартами формируются маршрутные карты, ведомости трудовых и материальных затрат, ведомости оснащения и так далее.

Правила или инструкции по подготовке информационной модели детали составляют лингвистическое обеспечение системы. Лингвистика САПР ТП XIII предусматривает декомпозицию (разбиение) детали на конструктивные элементы и описание детали и этих элементов на основе классификаторов в соответствии с определенными правилами. В качестве примера на рис. 38 приведен эскиз детали, на котором отмечены её конструктивные элементы.

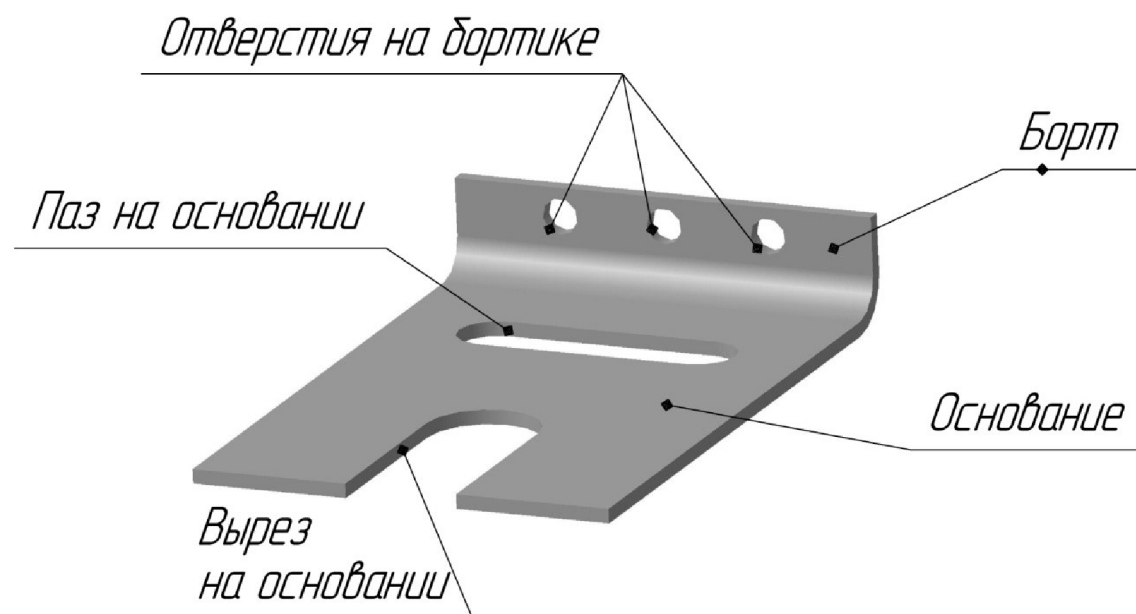


Рис. 38. Эскиз детали с её конструктивными элементами.

Для общего описания формы деталей разработан классификатор или граф идентификации формы, фрагментарно показанный на рис. 39.

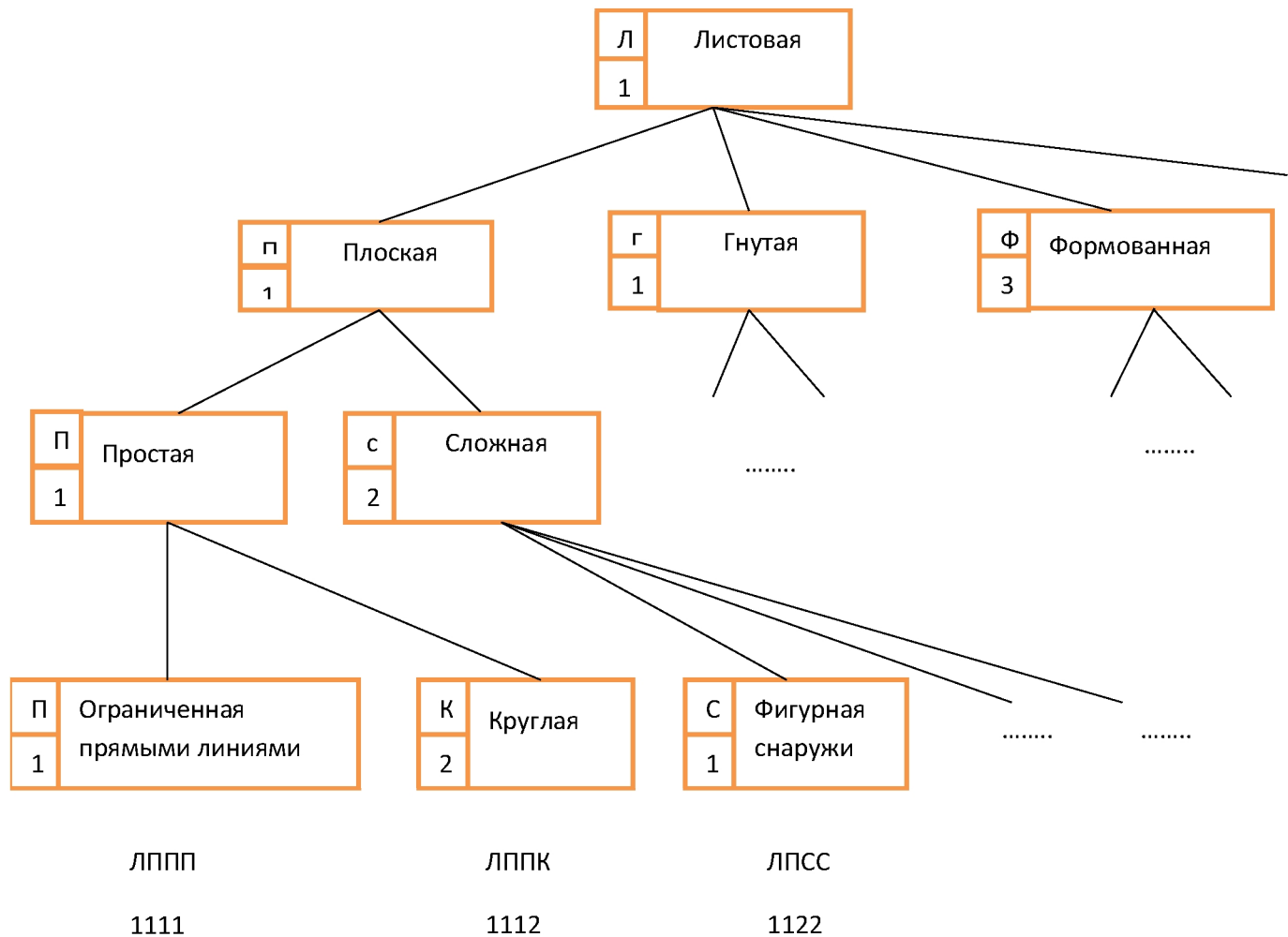


Рис. 39. Граф идентификации формы детали.

В том классификаторе всё множество листовых деталей разбивается на уровне формы на ряд классов: плоская, гнутая и т. д. – с обозначением каждого класса буквой и цифрой. Далее на уровне сложности формы каждый класс разбивается на подклассы, наконец, на уровне контура формы каждый подкласс делится на виды, при этом каждое разбиение вносит свои обозначения в виде букв либо цифр. В результате появляется общее символьное обозначение детали, называемое идентификатором.

Для описания элементов конструкции детали существует аналогичный граф - граф идентификации элементов, также фрагментарно представленный на рис. 40.

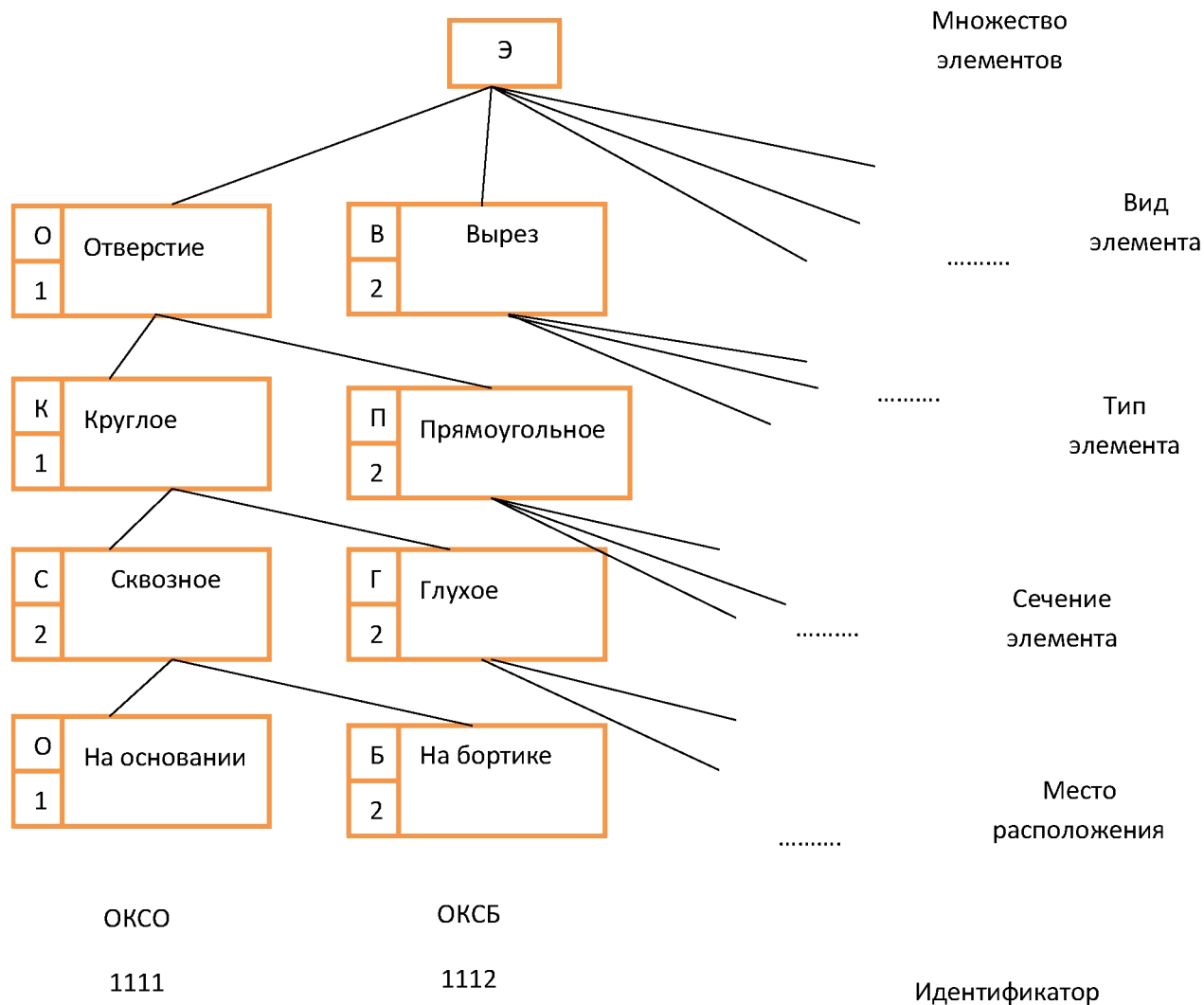


Рис. 40. Граф идентификации конструктивных элементов детали.

Всё множество конструктивных элементов разбивается на 12 видов, каждый вид – на несколько типов, каждый тип имеет несколько сечений, наконец, каждый элемент может располагаться либо на бортике, либо на основании. В результате появляется идентификатор конструктивных элементов в виде набора букв.

Для представления информационной модели детали используется две формы – табличная и текстовая. Табличная предусматривает заполнение специальной таблицы, называемой картой исходной информации о детали – КИИД. В этой таблице для каждой порции информации предусмотрена своя ячейка, где проставляются название детали, её номер, материал, идентификатор формы и другие сведения, называемые реквизитами.

Текстовая форма использует строчно-языковый способ с разделителями. Это означает, что информационная модель записывается, как строки машинописного текста, при этом реквизиты отделяются друг от друга разделителем в виде двоеточия (:), а реквизиты имеют свои обозначения, после которых ставится знак равенства (=). В качестве примера можно привести следующий фрагмент информационной модели:

74.00.0405.060/007:1=УПОР:2=204:3=2: ... :54=ЛПСС:59=ЛФНР: ... :
(ОКСО:2:42:.....5.2(ППКБ:1:..52: ... ,

где 74.00.0405.060/007 – номер чертежа детали; 1=УПОР – название детали; 2=204 – изделие; 3=2 – количество деталей на изделие; ... и т. д.; 54=ЛПСС – идентификатор заготовки (листовая, плоская, сложная, фигурная снаружи); 59=ЛФНР - идентификатор детали по тому же классификатору; другие сведения в этом примере пропущены, а всего их может быть до 100 реквизитов; далее после скобки приводится информация о конструктивном элементе отверстия круглом сквозном на основании ОКСО в количестве 2 штук с расстоянием до деформируемого элемента 42 мм, диаметр отверстия 5.2 мм, других сведений об отверстии нет, но предусмотрено, что их может быть до 16 штук реквизитов; после скобки следует аналогично информация об элементе ППКБ – подсечка прямая концевая на бортике, количество подсечек -1, длина подсечки составляет 52 мм.

Информационная модель для проектирования техпроцесса не обязательно должна содержать всю информацию с чертежа детали, она может быть неполной, например, расстояние между отверстиями, пробиваемыми в совмещённом штампе, не всегда влияют на содержание операций техпроцесса. Обязательные реквизиты оговариваются в инструкции по кодированию информации о детали.

САПР ТП XIII использует метод адресации, то есть в базе данных имеется соответствующий детали унифицированный техпроцесс, привязка к которому и данные для сравнения с функциями включения операций содержатся главным образом в реквизитах 54 и 59, описывающих общие сведения о детали и заготовке, а также в описании элементов конструкции детали.

Также одной из первых в самолётостроении появилась **система автоматизированного проектирования техпроцессов автоматической клёпки – САПР ТПАК.**

Эта система проектирует технологические процессы также без директивного вмешательства оператора. Оператор кодирует информацию о сборочной единице и сообщает её системе в диалоговом режиме. Система проектирует техпроцесс и одновременно анализирует технологичность сборочной единицы; о неприемлемых для автоматической клёпки параметрах и ошибках в информационной модели изделия выдаётся соответствующее сообщение оператору. Система работает в режиме метода адресации. В её базе данных имеется типовой техпроцесс, который автоматизированно конкретизируется в зависимости от информации о сборочной единице, подлежащей сборке. Процедура проектирования в виде функционального представления системы показана на рис. 41.

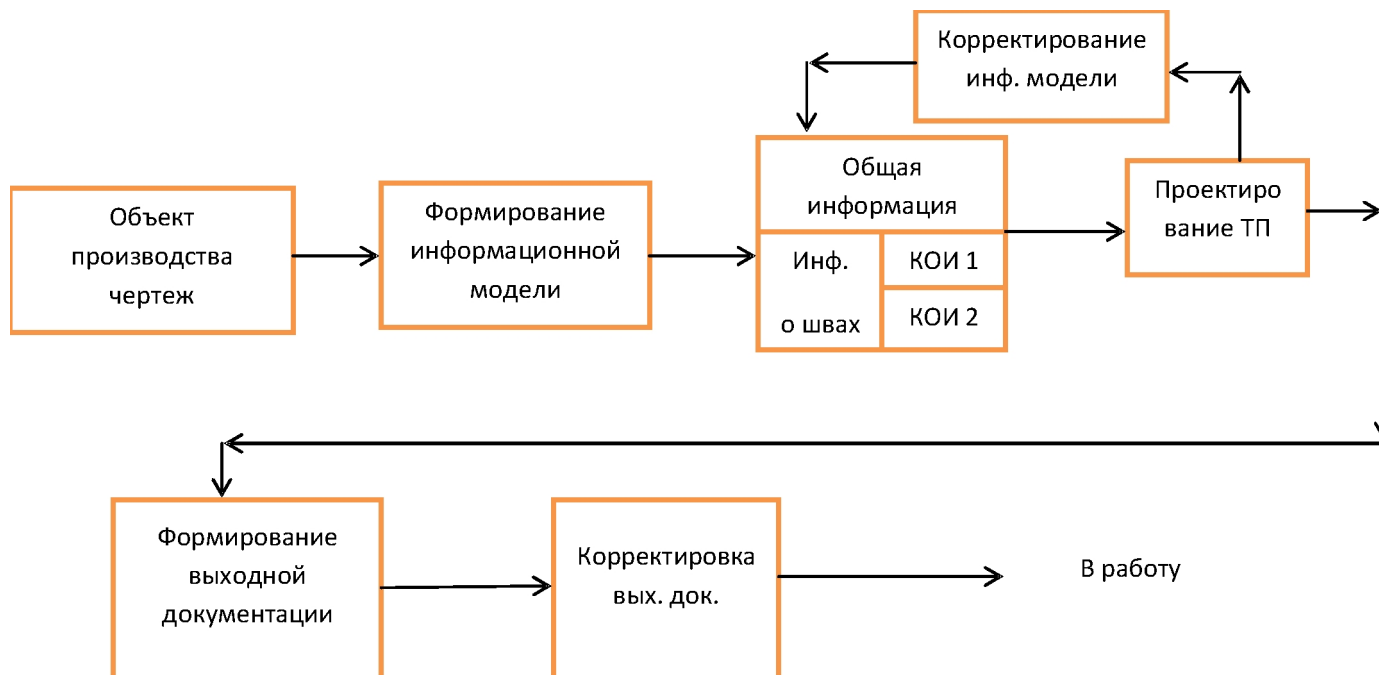


Рис. 41. Функциональное представление САПР ТПАК.

Информационная модель объекта производства составляется оператором в виде двух файлов, один из которых содержит общую информацию о сборочной единице, другой – информацию о заклёпочных швах. На основе этой информации разрабатывается маршрутная карта, операционная карта и комплектовочная карта, которые могут быть скорректированы оператором, после чего распечатаны либо сохранены.

Главное меню системы содержит четыре функции или раздела:

- корректировка справочной информации;
- формирование оперативной информации о сборочной единице и заклёпочных швах;
- корректировка оперативной информации о сборочной единице и заклёпочных швах;
- проектирование техпроцесса.

Первая функция есть не что иное, как администратор базы данных. Структура этого раздела главного меню представлена на рис. 42.

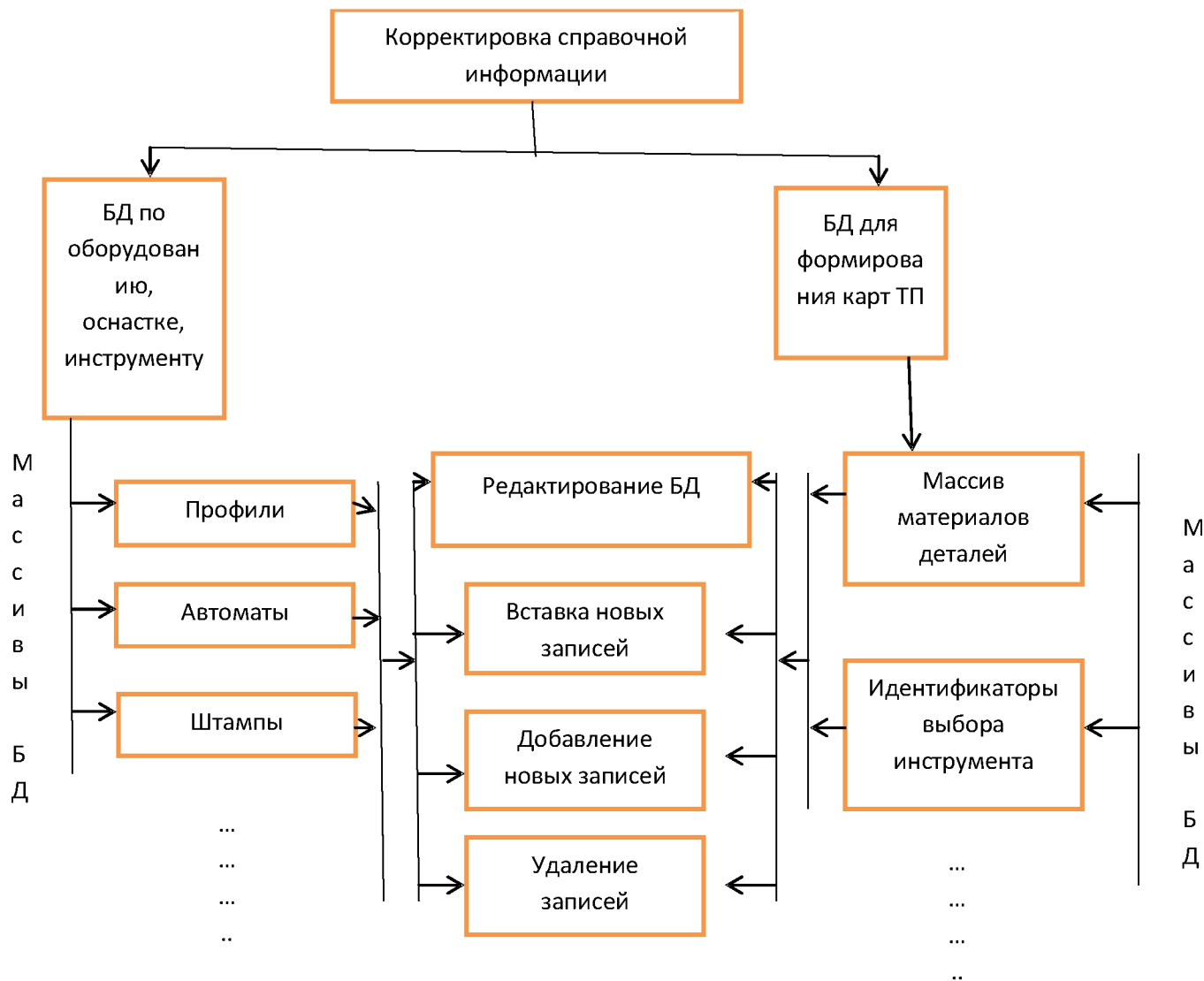


Рис.42. Меню раздела корректировки справочной информации.

Вторая функция главного меню предназначена для формирования двух упомянутых выше файлов, содержащих информационную модель сборочной единицы, третья и четвёртая – для выполнения действий, соответствующих названиям разделов.

Комплекс автоматизированных систем проектирования технологических процессов и оснащения для подготовки агрегатно-сборочного производства – **система ТеМП** - разработана в МАТИ специально для предприятий аэрокосмического направления. Предназначена в частности для проектирования директивных техпроцессов и рабочих техпроцессов сборки летательных аппаратов, в конструкции которых применяются заклёпочные, резьбовые, сварные и комбинированные соединения.

Состав решаемых задач:

- отработка изделий на технологичность;
- формирование и анализ технологических моделей сборочных единиц;
- проектирование и нормирование директивных техпроцессов и цикловых графиков сборки;
- проектирование и нормирование рабочих техпроцессов;

- анализ рабочих зон сборочных единиц с учётом эргономики;
- формирование комплекта технологической документации;
- формирование и ведение информационной среды сборочных работ.

Для работы этой системы может использоваться электронная модель изделия и бумажные носители информации. Она обеспечивает возможность параллельного конструкторско-технологического проектирования и переход на бесплазмовую подготовку производства и организацию электронного документооборота.

4.2. ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ САПР ТП

Тяжёлые и большие системы типа Про/Инженер, ADEM и другие популярные системы сквозного проектирования имеют в своём составе множество модулей, позволяющих разрабатывать конструкции изделий, проектировать технологические процессы и оснастку, готовить управляющие программы для станков с ЧПУ и т. д. Большой частью технологические модули применяются для процессов механической обработки резанием, но могут использоваться и для других технологических переделов. В данном разделе освещены отечественные программные продукты, доступные в том числе и небольшим предприятиям машиностроения.

САПР ТП КАРУС, одна из первых эксплуатируемых в машиностроительном производстве систем, проектирует техпроцессы механической обработки резанием, используя метод аналогий и метод диалога. При работе в режиме метода аналогий система копирует указанный оператором техпроцесс-аналог в новый файл под новым именем и предоставляет оператору возможность его редактирования, то есть разработки нового техпроцесса под другим именем. При работе в режиме диалога система предлагает оператору развёрнутое меню с разнообразной помощью и подсказками, пользуясь которыми, оператор указывает машине выбранные им из подсказок системы решения. Таким образом формируется технологический процесс путём директивного вмешательства оператора, то есть технологический процесс проектирует оператор, система помогает ему и формирует технологическую документацию в соответствии со стандартами. Функциональное представление системы показано на рис. 43.

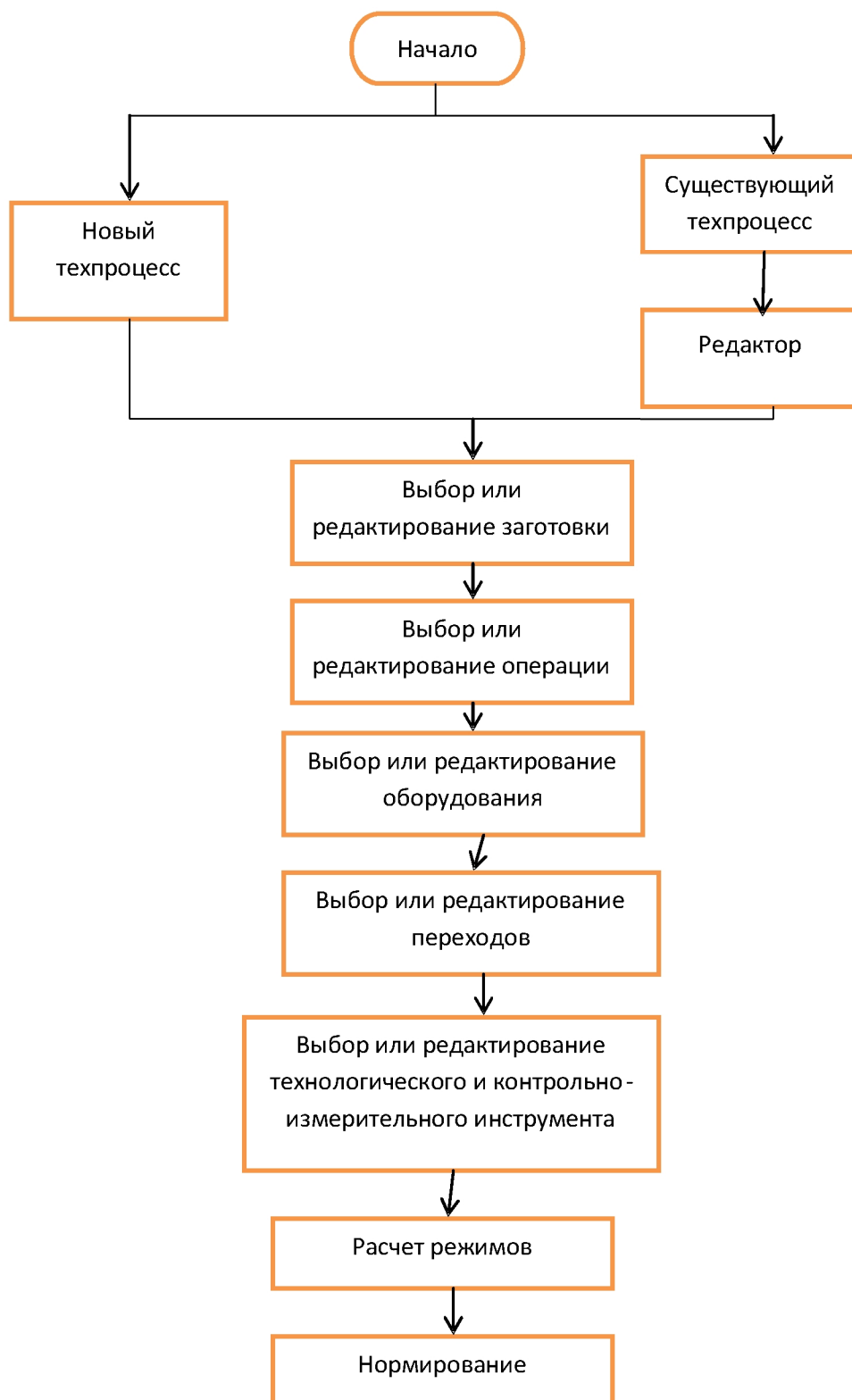


Рис. 43. Функциональное представление САПР ТП КАРУС.

В базе данных системы накапливаются технологические процессы, которые могут выступать в качестве аналогов, но автоматизированный поиск аналога не предусмотрен, его осуществляет оператор. Также в базе данных имеются массивы оборудования, инструментов, типовых формулировок операций и переходов и так далее, а также типовые связи оборудования, инструмента с этими операциями и переходами. Система назначает оборудование и инструмент по этим типовым связкам в зависимости от выбранных оператором переходов и операций.

Оператор имеет возможность и самостоятельно назначить технологическое оснащение и станки, воспользовавшись соответствующими массивами базы данных, либо внести информацию в составляемый документ с клавиатуры.

САПР ТП КОМПАС-АВТОПРОЕКТ и пришедшая ей на смену **САПР ТП КОМПАС-ВЕРТИКАЛЬ** по методам проектирования техпроцессов и видам технологий являются комбинированными. Они позволяют проектировать техпроцессы обработки резанием, штамповки, сборки, сварки, термообработки и др., а также техпроцессы, содержащие одновременно все эти технологии. В основе работы систем лежит принцип заимствования ранее принятых технологических решений. В базе данных имеются и постоянно накапливаются технологические процессы, типовые блоки операций, типовые решения и т. д. При формировании нового техпроцесса пользователь имеет доступ к этой информации.

Разработка техпроцесса осуществляется в следующих режимах:

- проектирование на основе техпроцесса-аналога, а именно автоматизированный выбор подходящей технологии из накопленного архива и доработка его в диалоговом режиме;
- формирование техпроцессов из блоков типовых технологических операций из базы данных;
- формирование технологических процессов из отдельных операций архивных технологий;
- автоматическая доработка типовых технологий с учётом данных чертежа изделия;
- диалоговое проектирование с доступом к базе данных.

Таким образом эти системы проектируют техпроцессы и методом адресации, и методом диалога, и методом аналогий. По существу эти системы полностью соответствуют классической структурной схеме, представленной на рис. 36. Изначально это база данных с незаполненными массивами со своей системой управления СУБД. В комплект разрабатываемых документов входят титульные листы, карты эскизов, маршрутные карты, маршрутно-операционные карты, операционные карты, ведомости оснащения, ведомости материалов и др. по желанию заказчика, приобретающего программный продукт. Формы технологической документации соответствуют ГОСТам, но допускают возможность внесения изменений в структуру.

САПР ТП T-FLEX Технология решает задачи разработки маршрутной, маршрутно-операционной и операционной технологии с выдачей не только документов в соответствии со стандартами ЕСТД и ЕСТПП, но и производственных документов, сводных ведомостей, отчетов с расцеховками различных форм.

Основная часть системы T-FLEX Технология обеспечивает:

- работу в едином информационном пространстве, прямой доступ к параметрам деталей и узлов на чертеже изделия;
- разработку технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц;
- присоединение к технологическим документам эскизов, условных обозначений и т. д.;
- ведение технологических справочников;
- ведение базы разработанных технологических решений;

-расчёт режимов и норм времени;

-создание расчётов пользователем.

Системы **ТехноПро** и **ТехКарт** можно рассматривать, как системы первого поколения. Опыт их разработки и эксплуатации использован в системе T-FLEX Технология, но и сами эти системы имеют достаточно широкое распространение [1].

Автоматизированная система конструирования и технологической подготовки производства **КРЕДО** в части ТПП автоматизирует ведение архива технологической документации и обеспечивает моделирование процессов механической обработки деталей с получением управляющих программ для оборудования с ЧПУ. Особенностью подсистемы ЧПУ является непосредственное использование информации из геометрической базы данных модели без специальной предварительной конвертации геометрических данных. Это существенно повышает быстродействие и расширяет функциональные возможности подсистемы.

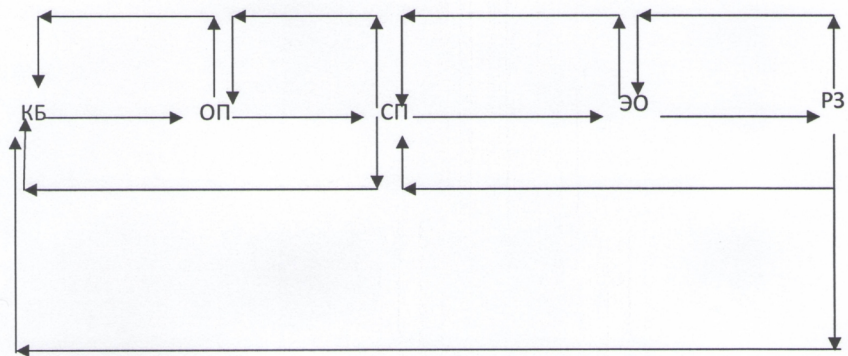
5. ВВЕДЕНИЕ В CALS (ИПИ)-ТЕХНОЛОГИИ

С развитием средств вычислительной техники и разработкой прикладного программного обеспечения для самых разнообразных задач документооборот во всех отраслях начал становиться все более безбумажным. В настоящее время информатизация распространилась во все процессы и аспекты деятельности человека. Международный стандарт качества ИСО-9000 установил, что любой продукт имеет некий жизненный цикл существования от момента выявления потребностей общества в этом продукте до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта. При этом стандарт выделил 11 этапов этого жизненного цикла, которые применительно к изделиям аэрокосмической техники можно сформулировать следующим образом:

- 1 этап – изучение рынка потребностей;
- 2 этап – проектирование и разработка изделия;
- 3 этап – технологическая подготовка производства;
- 4 этап – закупки;
- 5 этап – производство изделия;
- 6 этап – хранение;
- 7 этап – реализация;
- 8 этап – ввод в эксплуатацию;
- 9 этап – обслуживание;
- 10 этап – эксплуатация;
- 11 этап – утилизация.

Под CALS (ИПИ)-технологиями подразумевается информационная поддержка изделий на всех этапах жизненного цикла [6]. Ключевым понятием в ИПИ-технологиях является информация о продукте, а не физический продукт. Эта информация создается на разных этапах жизненного цикла с помощью компьютерных систем, сопровождающих продвижение изделия от этапа к этапу, в пределе она должна существовать лишь на электронных носителях без твердых копий.

Реализация идеи ИПИ-технологий лежит в создании единого информационного пространства, предполагающего отказ от прямого взаимодействия и последовательной передачи данных между участниками жизненного цикла. Традиционной схемой взаимодействия участников проекта по изделиям аэрокосмической техники была последовательность разработки и передачи документации либо изделия в металле от конструкторских бюро (КБ) в опытное производство(ОП), далее следовали серийное предприятие (СП), эксплуатирующая организация (ЭО), ремонтный завод (РЗ) и т.д. с обратными связями (рис.44).



- возможность возврата от банкротства;
- свобода возврата к информативности;
- возможность изменения параметров жизни и смерти;
- возможность возврата информативности во времени и при информативности;
- возможность жизни;

Этими информативными процессами имеют следующие особенности:

- участники взаимодействуют между собой как и со временем;
- оно является стандартным источником информативности;
- охватывается все информативные события на уровне жизни человека;
- информативность проявляется в различных видах:

Унифицированное информативное взаимодействие является 10' или:

финансово в форме по времени взаимодействий к процессу (рис. 42)

Информация жизненного цикла является не единственной формой информации, но и взаимодействием информации в различных видах информативности.

Рис.44. Традиционная схема взаимодействия участников жизненного цикла



Рис.44. Традиционная схема взаимодействия участников жизненного цикла.

Единое информационное пространство объединяет в виртуальное предприятие участников жизненного цикла, зачастую не связанных между собой ни юридически, ни финансово, а только по признаку принадлежности к проекту (рис.45).

Для единого информационного пространства характерным является то, что:

- информация представляется в электронном виде;
- охватывается вся информация, созданная на любом этапе жизненного цикла;
- оно является единственным источником информации;
- участники используют международные стандарты такие же, как и создатели программных продуктов.

Единое информационное пространство имеет следующие преимущества:

- целостность данных;
- минимум искажений информации во времени и при тиражировании;
- доступность изменений данных всем и сразу;
- скорость доступа к информации;
- независимость доступа от расстояния.

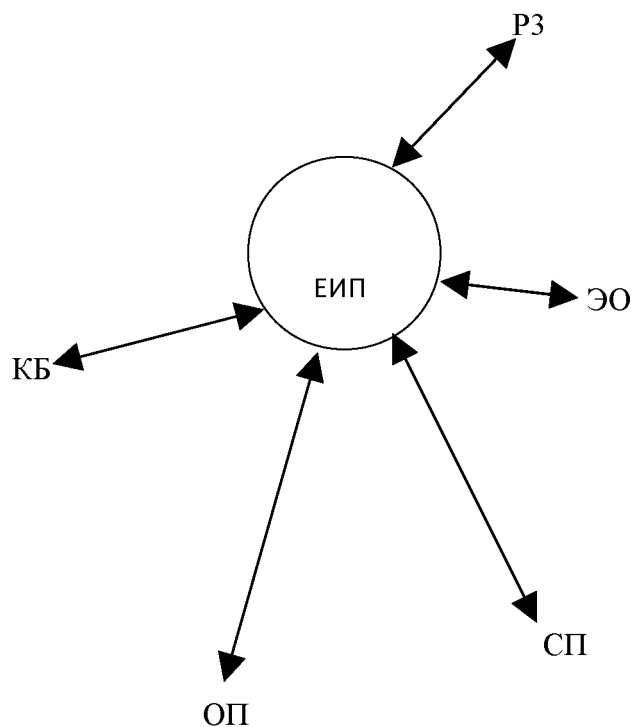


Рис.45. Виртуальное предприятие

Предпосылкой единого информационного пространства в авиационной отрасли можно считать независимую систему обеспечения взаимозаменяемости, сменившую или

усовершенствовавшую в свое время изначальный плазово-шаблонный метод. Плазово-шаблонный метод обеспечивает перенос размеров сложных поверхностей нежестких деталей от чертежа к изделию через систему жестких носителей формы и размеров – шаблоны. Контуры сечений копировались с теоретического чертежа на прозрачный материал для получения плазов, с которых информация о форме ручным копированием переносилась на шаблоны, оснастку, детали. При последовательном копировании ошибки в размерах контуров накапливаются до величины в десятки миллиметров, что приводит к проблемам при сборке, ремонте, так как взаимозаменяемость не обеспечивается в должной мере. Позднее с появлением электронно-вычислительных машин обеспечение взаимозаменяемости стало базироваться на единой электронной модели поверхности изделия. Электронная модель может представляться в виде математических зависимостей, систем уравнений и т.д., т.е. при тиражировании информации о поверхностях ошибки не накапливаются, обеспечивается надежная повторяемость размеров и формы, в том числе сложных мало жестких оболочек (см. рис.46, 47).

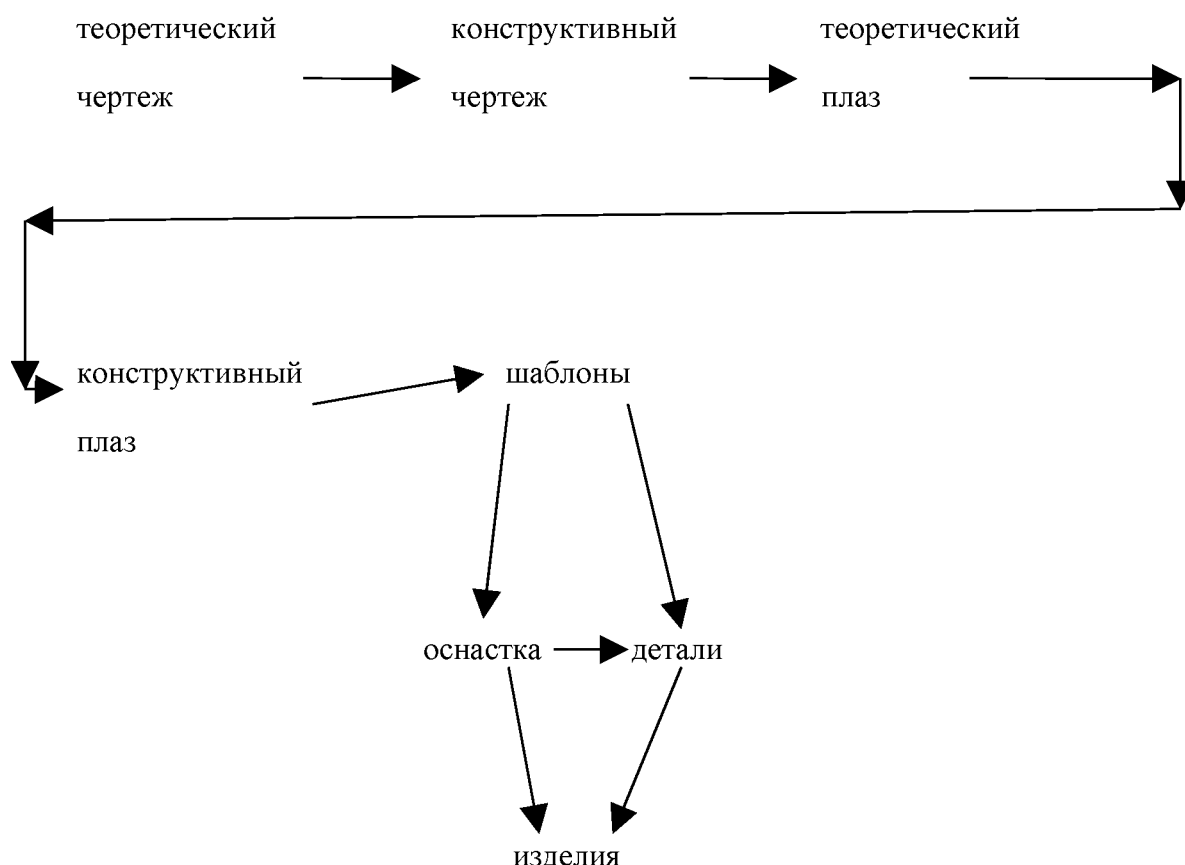


Рис.46. Схема обеспечения взаимозаменяемости плазово-шаблонным методом

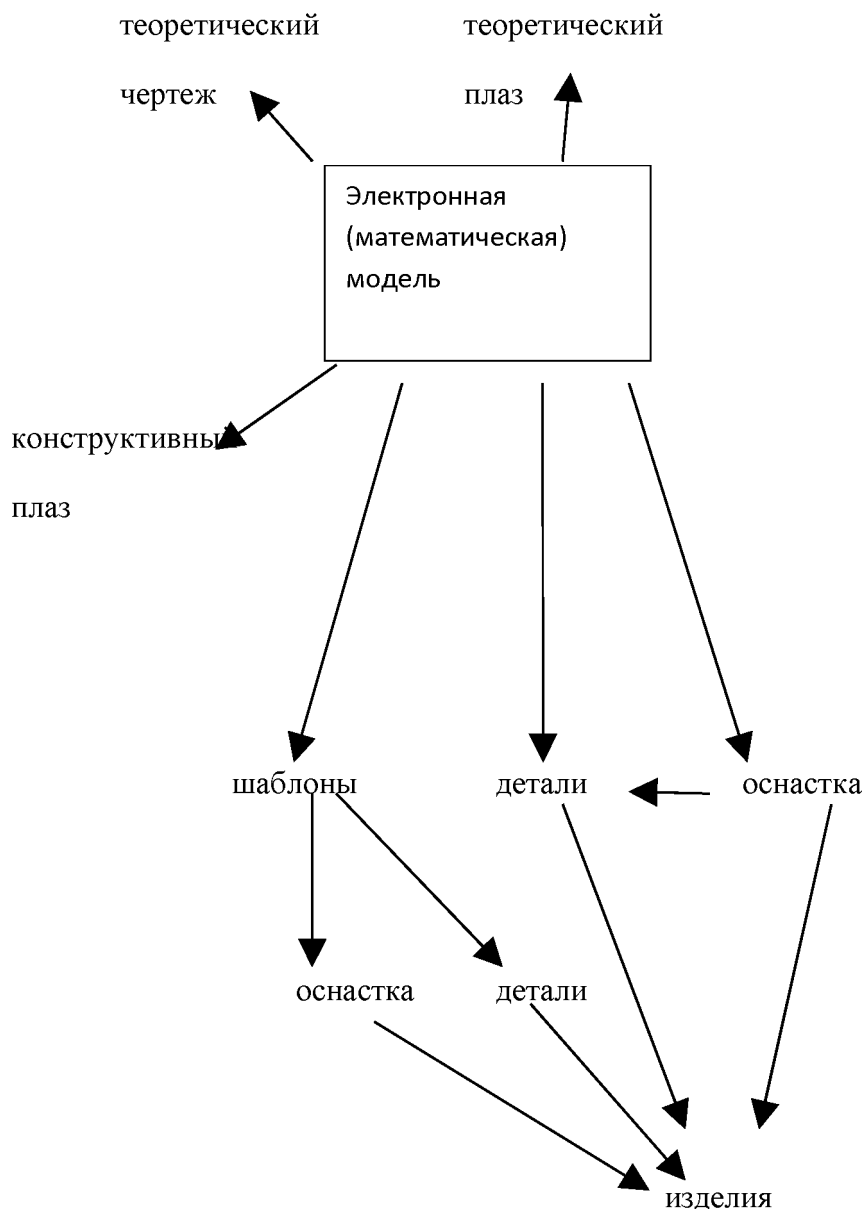


Рис.47. Схема бесплазового обеспечения взаимозаменяемости

В такой схеме легко угадывается прообраз единого информационного пространства в масштабах подразделений одного-двух предприятий.

Для обслуживания единого информационного пространства (хранение, обеспечение доступа для пользования или внесения изменений и т.д.) необходима система управления данными об изделии. Такие программные продукты вместе с системами, применяющимися для расчетов, конструирования, подготовки производства образуют единую цепочку, которую обычно изображают в виде аббревиатур CAE / CAD / CAM / CAPP / PDM / PLM. Если рассмотреть использование программных продуктов в хронологической последовательности разработки и изготовления изделий, то можно указанную аббревиатуру проиллюстрировать схемой, представленной на рис.48.

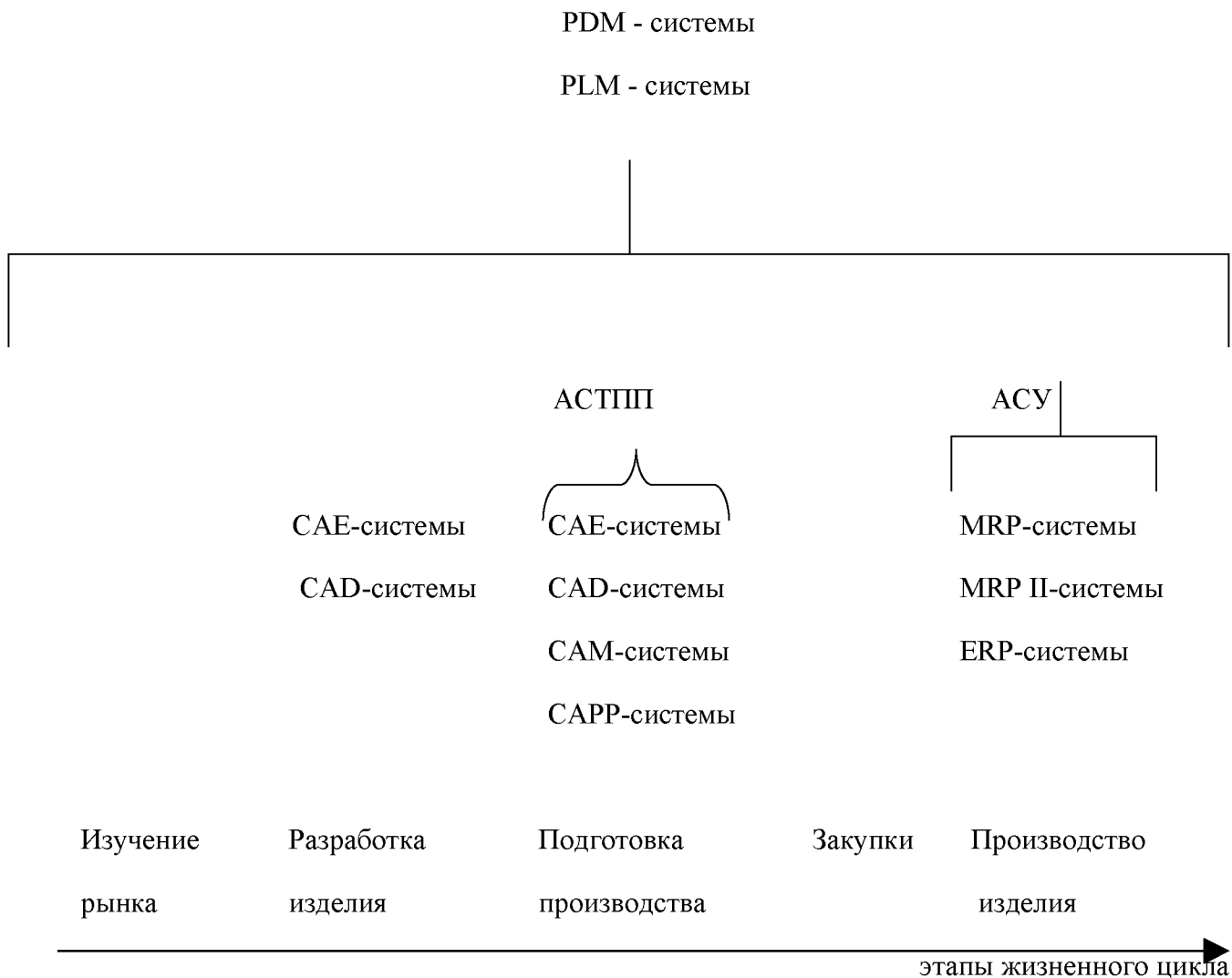


Рис.48. Программные продукты и этапы жизненного цикла изделий

При проектировании и конструировании изделий производится большой объем расчетных работ оценки прочности, изучения аэродинамического потока, теплообмена и т.д. При этом применяются системы инженерного расчета САЕ – системы, наиболее популярными из которых считаются AnSYS и NASTRAN.

К САЕ-системам относятся программные продукты для конструирования изделий, с их помощью разрабатываются плоские или объемные чертежи (2D-модели и 3D-модели, соответственно). Наиболее распространенными в аэрокосмической технике являются соответствующие модули таких крупных систем как САТІА и Unigraphics, из отечественных самой популярной можно назвать Компас, существует и много других систем, известных еще и как САПР конструкций.

При технологической подготовке производства необходимо разработать технологические процессы, спроектировать стапелы, стенды, штампы и другое технологическое оснащение и специальный технологический и контрольно-измерительный инструмент, подготовить управляющие программы для оборудования с ЧПУ. При проектировании требуется проведение расчетов на прочность, жесткость, точность, формоизменения и т.д., что делается с помощью САЕ-систем, САЕ-системы используются для конструирования оснастки.

Специфические технологические системы САМ – для разработки управляющих программ к станкам с ЧПУ и САРР – для оформления маршрутных карт, операционных карт и другой технологической документации. «Тяжелые» программные продукты типа САТІА имеют модули САМ, пользуются популярностью САМ-системы ГеММа и Delcam, маршрутные и операционные технологии разрабатываются популярными САРР-системами Компас-Автопроект и Компас-Вертикаль. Эти программные продукты являются компонентами автоматизированных систем технологической подготовки производства – АСТПП.

АСУ – автоматизированные системы управления (предприятием, производством...) подразумевают планирование потребности в материалах (MRP), планировании производства (MRP II), планирование ресурсов (ERP) и т.д. Наконец, как бы над ними стоят системы PDM – управление данными об изделии и PLM – управление продвижением продукта, как основы управления жизненным циклом продукции.

CALS(ИПИИ)-технологии наряду с явными экономическими преимуществами, обеспечивающимися, прежде всего, высочайшей скоростью поставки продукта на рынок за счет производительности труда конструкторов, проектировщиков, а также за счет параллельности разработки элементов конструкции, технологического обеспечения производства и т.д., вносят свои проблемы. К основным из них относятся:

- необходимость перехода на новые государственные, отраслевые стандарты, отвечающие международным стандартам;
- противоречие между высокой динамикой развития вычислительной техники и статичностью стандартов, отстающих от информатизации;
- несовместимость, нестыкуемость САЕ / САD / САМ / САРР / PDM / PLM программных продуктов (модулей) различных фирм между собой;
- необходимость реинжиниринга, реорганизации потока работ в рамках одного проекта;
- постоянная подготовка и переподготовка кадров;
- регулярное дорогостоящее техническое и программное переоснащение;
- защита информации.

CALS(ИПИИ)-технологии также предполагают развитие международного сотрудничества, а оно обычно сопровождается международным разделением труда, т.е. развитие информационной поддержки производства товаров и услуг затрагивает государственные интересы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Братухин А. Г. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение [Текст] / Гл. ред. А. Г. Братухин. – М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008. -608 с.
2. Зильбербург, Л. И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении [Текст] / Л. И. Зильбербург, В. И. Молочник, Е. И. Яблочников. – СПб.: Политехника, 2004.-152 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя [Электронный ресурс]. - Справочник технолога-машиностроителя, том 1. – Windows Internet Explorer.
4. Пекарш, А. И. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолётов [Текст] / А. И. Пекарш, Ю. М. Тарасов, Г. А. Кривов и др. – М.: Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
5. Норенков, И. П. Информационная поддержка наукоёмких изделий. CALS-технологии [Текст] / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик. – М.: МГТУ им. Баумана, 2002. – 320 с.
6. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования [Текст] / И. П. Норенков. – М.: МГТУ им. Баумана, 2002. – 336 с.