

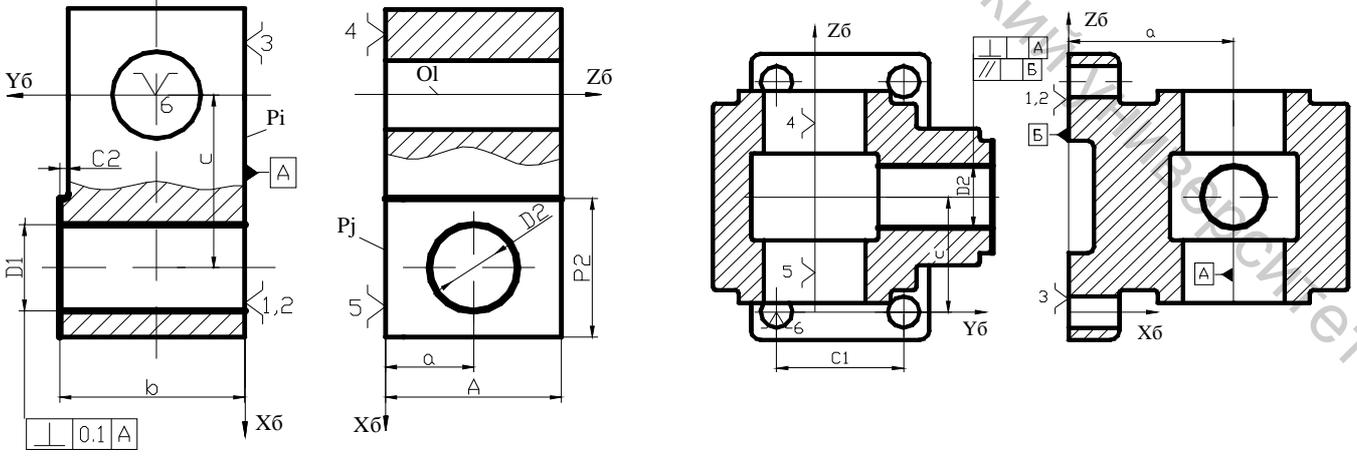
$\exists (P_i \perp P_j \perp P_k) \wedge ((O_{11} // P_i) \wedge (O_{11} // P_j)) \vee ((O_{11} // P_i) \wedge (O_{11} // P_k)) \vee ((O_{11} // P_j) \wedge (O_{11} // P_k))$   
 $T // O_{11} \rightarrow P_{i(0)} < T // O_{11} \rightarrow P_{j(0)} \Rightarrow P_{i(0)} = \text{УСТ}; P_{j(0)} = \text{НАПР}; P_k = \text{ОПР};$   
 $T // O_{11} \rightarrow P_{i(k)} < T // O_{11} \rightarrow P_{k(0)} \Rightarrow P_{i(k)} = \text{УСТ}; P_{k(0)} = \text{НАПР}; P_j = \text{ОПР};$   
 $T // O_{11} \rightarrow P_{j(k)} < T // O_{11} \rightarrow P_{k(0)} \Rightarrow P_{j(k)} = \text{УСТ}; P_{k(0)} = \text{НАПР}; P_i = \text{ОПР}.$

БЕЛЯКОВ Н.В. МАХАРИНСКИЙ Е.И.  
 МАХАРИНСКИЙ Ю.Е.

# ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

$\exists (P_i \perp P_j) \wedge ((O_i \perp P_j) \wedge (O_j // P_i)) \wedge (O_{21} \perp P_i)$   
 $T \perp O_{21} \rightarrow P_i \text{ TX}(P_j) < \text{TY}(O_i) \Rightarrow P_i = \text{УСТ}; P_j = \text{НАПР}; O_i = \text{ОПР};$   
 $T \perp O_{21} \rightarrow P_i \text{ TX}(P_j) > \text{TY}(O_i) \Rightarrow P_i = \text{УСТ}; O_i = \text{НАПР}; P_j = \text{ОПР};$   
 $T \perp O_{21} \rightarrow P_i \wedge O_{20} \subset P_i \Rightarrow O_i = \text{ДВНАПР}; P_j = \text{ОПР}; P_i = \text{ОПР}.$

$\exists (O_n \perp P_i) \wedge (O_l // P_j) \wedge (O_{41} \perp O_1 \wedge O_{41} // P_i)$   
 $T \perp O_{41} \rightarrow O_1 \wedge T // O_{41} \rightarrow P_i \Rightarrow P_i = \text{УСТ}; O_l = \text{НАПР}; O_n = \text{ОПР};$   
 $T \perp O_{41} \rightarrow P_i \wedge T // O_{41} \rightarrow P_i \wedge P_i \subset O_1 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow O_l = \text{ДВНАПР}; O_n = \text{ОПР}; P_i = \text{ОПР};$



**УДК 658.51:621.81**  
**ББК 30.2505**  
**Б44**

Рецензенты:

профессор кафедры «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор **Кане М.М.**;

профессор кафедры «Радиоэлектронные средства» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, доктор технических наук, профессор **Горохов В.А.**

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским Советом УО «ВГТУ» протокол № 6 от «26» декабря 2006г.

**Б44** **Беляков, Н. В.** Формализация проектирования технологических процессов механической обработки корпусных деталей машин / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский ; УО «ВГТУ» . – Витебск, 2006. – 147с.

**ISBN 958-481-053-4**

Приводятся принципы использования положений теории базирования при создании САПР ТП механической обработки. Описаны методики, алгоритмы, методы формализованного: синтеза конструктивно- технологической модели корпусной детали из параметризованных функциональных модулей и технологических регламентов их обработки, структурного синтеза маршрута обработки, определения вида компонентов (установочная, направляющая, опорная и т.д.) комплекта технологических баз, структурного синтеза состава компонентов теоретической схемы установки при проектировании технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей, а также программно-методический комплекс их реализующий.

Результаты работы могут быть полезны научным работникам в области автоматизации проектирования в машиностроении, инженерно-техническим работникам машиностроительных предприятий занимающихся проектированием корпусных деталей машин и технологических процессов их механической обработки, разработчикам САПР ТП, а также студентам машиностроительных специальностей ВУЗов, слушателям системы повышения квалификации машиностроительного профиля

**УДК 658.51:621.81**  
**ББК 30.2505**

**ISBN 958-481-053-4**

© Беляков Н.В., Махаринский Е.И.  
Махаринский Ю.Е., 2006  
© Учреждение образования  
«Витебский государственный  
технологический университет»,  
2006

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	5
<b>1. Состояние проблемы</b> .....	6
1.1. Анализ методов формализации технологического проектирования для корпусных деталей .....	6
1.2. Анализ работ по теории базирования.....	20
1.3. Выводы и постановка задачи работы.....	25
<b>2. Теория базирования в проблеме разработки САПР ТП механической обработки и оснастки в машиностроении</b> .....	27
2.1. Проектное и реальное базирование. Понятие конструкторской и технологической проектных баз.....	27
2.2. Практические аспекты теории базирования при механической обработке.....	30
2.2.1. Порядок проектирования станочной оснастки.....	30
2.2.2. Задание взаимного расположения элементов конструкции на чертежах и операционных эскизах.....	31
2.2.3. Вид компонента комплекта баз.....	37
2.2.4. Схемы базирования и установки. Оценка допустимости схемы установки.....	42
2.3. Выводы по главе 2.....	49
<b>3. Конструктивно-технологические особенности корпусных деталей в станкостроении</b> .....	51
3.1. Представление конструкторской информации в задаче синтеза схем базирования и порядка обработки заготовок.....	51
3.1.1. Элементы конструкции корпусных деталей в станкостроении....	51
3.1.2. Внутренние и внешние показатели элементов конструкции.....	58
3.2. Формализация назначения маршрута обработки элементов конструкции.....	67
3.2.1. Синтез маршрута обработки элементов конструкций корпусных деталей в станкостроении.....	67
3.2.2. Использование типовых технологических регламентов.....	71
3.3. Выводы по главе 3.....	74

<b>4. Метод формализованного определения порядка смены комплектов баз при механической обработке заготовок корпусных деталей.....</b>	<b>75</b>
4.1. Типовая схема обработки заготовок корпусных деталей.....	75
4.2. Метод формальной идентификации комплектов технологических баз ориентации внутри этапов типовой схемы обработки деталей.....	75
4.3. Определение порядка обработки поверхностей и смены баз внутри этапов типовой схемы обработки.....	87
4.4. Выводы по главе 4.....	92
<b>5. Алгоритмы синтеза и анализа схем базирования и установки заготовок корпусных деталей.....</b>	<b>94</b>
5.1. Определение функций компонентов комплекта технологических баз ориентации.....	94
5.2. Метод структурного синтеза теоретической схемы установки.....	99
5.3. Методика оценки допустимости схемы установки.....	107
5.4. Выводы по главе 5.....	113
<b>6. Программно-методический комплекс автоматизации процедур проектирования технологических процессов.....</b>	<b>114</b>
6.1. Программное обеспечение процедуры синтеза комплектов технологических баз.....	114
6.2. Программное обеспечение процедуры синтеза маршрута обработки функциональных модулей низких рангов.....	119
6.3. Программное обеспечение синтеза состава компонентов схемы установки.....	122
6.4. Программное обеспечение расчета технологических размеров и размеров заготовки.....	124
6.5. Выводы по главе 6.....	133
Заключение.....	135
Литература.....	137

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Технологическая подготовка серийного производства деталей машин в машиностроении, несомненно, влияет на качество и эффективность их изготовления. Высокое качество технологической подготовки производства повышает ее эффективность и существенно уменьшает вероятность брака. Разработанный технологический процесс должен обязательно обеспечить заданную чертежом точность размеров и относительных поворотов. Точность относительных поворотов обеспечивается только правильным выбором технологических баз. При обработке настроенным на партию деталей инструментом правильный выбор технологических баз обеспечивает также правильную точность чертежных размеров, особенно если последние получают опосредованно – через ряд технологических размеров.

Но анализ литературы и опыта эксплуатации CAD/CAM систем для машиностроения показал, что для нетиповых оригинальных деталей станкостроения (класса корпус, кронштейн и др.) пока еще не созданы модели, методики и системы автоматизированного проектирования, с помощью которых возможно в автоматическом режиме назначать схемы базирования (СБ) и схемы установки (СУ), а также определять последовательность обработки компонентов заготовки в пределах каждого этапа технологического процесса. Это происходит потому, что пока еще не была разработана полностью формализованная методика выполнения указанных процедур, и они могут выполняться инженером-технологом только в режиме диалога с ЭВМ на основе собственного опыта и интуиции.

Формализация процедур проектирования индивидуальных технологических процессов актуальна не только для автоматизации их выполнения, но и при ручном проектировании, как на производстве, так и в учебном процессе. Поэтому разработанные модели и методики позволяют формировать модель корпусной детали внутри этапов механической обработки из параметризованных функциональных модулей, назначать вид компонентов комплекта операционных технологических баз (установочная, направляющая, опорная, двойная опорная и т.д.) и оптимальный состав компонентов схемы установки, а также определять порядок смены баз на каждом этапе технологического процесса. Предлагаемые модели и методики могут применяться только при внесении некоторых уточнений и дополнений в ГОСТ 21495-76 «Базы в машиностроении. Термины и определения».

Монография подготовлена по результатам выполнения задания Межвузовской программы фундаментальных исследований «Разработка научных основ создания прогрессивных технологических процессов, оборудования и инструмента для машиностроительного производства Республики Беларусь» (Машиностроение-1) по теме «Системно структурное моделирование синтеза технологических процессов изготовления корпусных деталей машин» (№ гос. рег. 2001531). Задание выполнялось авторами в 2001- 2005 г.г.

Все главы и разделы монографии написаны Беляковым Н.В., разделы 5.2 и 5.3 – совместно с Махаринским Ю.Е. Общее руководство работой осуществлялось Махаринским Е.И.

# ГЛАВА 1

## СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

### 1.1. Анализ методов формализации технологического проектирования для корпусных деталей

Проектирование технологического процесса механической обработки осуществляется [1] согласно 4-м этапам и 12-ти процедурам, основными из которых являются:

1. Предварительный этап:
  - 1.1. анализ конструкторской информации;
  - 1.2. выбор метода изготовления заготовки.
2. Синтетический этап:
  - 2.1. синтез маршрутов обработки типовых компонентов детали;
  - 2.2. синтез комплектов технологических баз и назначение порядка выполнения переходов внутри этапов типовой схемы обработки;
  - 2.3. синтез схем установки и определение ее погрешности.
3. Аналитический этап:
  - 3.1. определение допусков, минимальных припусков;
  - 3.2. размерный анализ технологического процесса.
4. Завершающий этап:
  - 4.1. нормирование операций и определение затрат;
  - 4.2. выбор или проектирование конструкций приспособлений.

Первой процедурой проектирования технологического процесса ТП является **анализ конструкторской информации**, цель которого – преобразование конструкторской информации в *форму удобную для ее обработки и принятия технологических решений* на последующих процедурах и этапах проектирования. Для этого деталь, например, сравнивают с деталями, имеющимися в классификаторе, и относят к определенному классу, группе и т.д. (разрабатывается комплексная, типовая, групповая деталь), либо осуществляется разбиение детали на типовые компоненты (линии, поверхности, симплексы, шестимерные векторы, функциональные модули, элементы конструкции и т.п.), которые объединяются в однородные группы. После чего определяются связи расстояний и относительных поворотов между ними и их точность, а также показатели качества поверхностей.

В конечном итоге для решения задач технологической подготовки производства с помощью ЭВМ осуществляется переход от реального технического объекта через вербальную модель к информационной модели, а затем к внутримашин-

ной модели (базе данных) [2-26].

**Маршрут изготовления типовых компонентов детали** (процедура 2.1) может формироваться двумя способами: 1) с помощью стандартных типовых маршрутов; 2) с помощью синтеза различных вариантов.

Стандартные типовые маршруты применяются при типовом проектировании технологии для детали-аналога или конструктивного элемента [27,28]. Однако в работе [29] приводится описание макета системы позволяющей воспроизвести интеллектуальные действия технолога при принятии решения о синтезе маршрута обработки поверхности. Транслирующая грамматика системы, позволяющая произвести проектирование элементов маршрута, вводится в систему в виде ряда правил. Система интерпретирует эти правила в виде определения типа отношения между предыдущим и последующим действием. После задания конкретных свойств объекта и технологической среды, система формирует цепочки действий приводящие к достижению поставленной цели и сообщает какую из цепочек следует считать целесообразной.

В работах [30,31] задача синтеза маршрута обработки поверхностей справедливо решается с помощью поиска кратчайшего пути на сети состояний поверхности. Сеть состояний представлена в виде матрицы процесса обработки поверхности. Строки матрицы представляют собой состояние поверхности перед началом обработки, столбцы различные состояния во время обработки. На пересечении соответствующих строк и столбцов записывают рассчитанные величины стоимостей технологических переходов. Утверждается, что матрицы стоимости обработки должны формироваться для каждой поверхности (в зависимости от размеров) отдельно. Кроме того, для каждой поверхности необходимо формировать столько матриц, сколько методов может быть применено для ее обработки. На основании совокупности исходных матриц формируются две сводные матрицы: матрица методов обработки и матрица стоимостей обработки.

Однако процесс задания каждой поверхности матрицей в зависимости от размеров и возможных методов обработки значительно увеличивает их число. Кроме того, не ясно, каким образом определяется метод обработки для той или иной поверхности, не указывается какому виду обработки (предварительная, чистовая, отделочная, однократная) соответствует переход.

После процедур назначения маршрута обработки типовых компонентов детали осуществляется **определение технологических баз, порядка обработки заготовки (маршрут обработки заготовки) и окончательный синтез операций** (процедура 2.2.).

Методики проектирования типовой и групповой технологии, а также теоретические основы и системы автоматизации проектирования указанной процеду-

ры на основе типовой и групповой технологии впервые разработаны Соколовским А.П. [32, 33] и С. П. Митрофановым [9, 34-36].

Типовое и групповое проектирование основано на принципах технологической унификации и разработке классификаторов типовых деталей [37-45] и техпроцессов-аналогов. Для проектирования технологического процесса с помощью типовой и групповой технологии [9, 32-36] (как при ручном, так и автоматизированном проектировании) на основании классификации деталей для каждого класса заранее проектируется типовой технологический процесс, имеющий принципиально общий маршрут и содержание операций, типовые схемы базирования и конструкцию оснастки. На базе этого технологического процесса его пользователь составляет технологические процессы на конкретные детали данного класса, пользуясь типовым технологическим процессом как прототипом.

Проектирование типовых и групповых технологических процессов способствует сокращению сроков и стоимости технологической подготовки производства. Типовые и групповые методы заложены в основу ЕСТПП и в значительной мере способствуют созданию САПР технологических процессов в машиностроении.

Но помимо технических трудностей, связанных с необходимостью больших затрат времени на подготовку типовых и групповых технологических процессов, оказалось, что эти технологические процессы ориентированы на пройденные этапы развития технологии и конструирования. Уровень технологических решений, получаемых проектированием типовых и групповых технологических процессов, мало отличается от уже известных технологических решений. Они, в лучшем случае, при сокращении времени на проектирование оказываются наиболее рациональными из уже существующих. Возможности оптимизации технологических решений в условиях типового и группового методов весьма ограничены.

Как показывает практика современного машиностроения, в условиях непрерывного процесса совершенствования машин, механизмов и приборов, разработки их новых конструкций *оригинальные (нетиповые)* детали по оценкам специалистов предприятий составляют 65-85 % всех деталей машин. Только 15-35% деталей оказываются унифицированными, причем большинство из них относятся к числу вспомогательных. Такие детали, как корпуса, кронштейны и т.п., чаще всего относят к числу *оригинальных*, и на них нужно проектировать *индивидуальную технологию*.

На основе обобщения методов обработки типовых поверхностей корпусных деталей в ЭНИМСе в 1970-80гг разрабатывались типовые компоновки агрегатных станков, типовые технологические циклы и модели обработки поверхностей

на станках с ЧПУ, проводились работы по построению маршрутного технологического процесса обработки, выбору режущего инструмента, методам и средствам установки деталей на автоматизированных станочных комплексах [46-49].

Были разработаны технологические регламенты обработки ряда сложных деталей [50-53], однако вопросы синтеза индивидуальных технологических процессов, схем базирования и установки в них не рассматривались.

В работах [18-21] впервые рассматриваются вопросы синтеза единичных технологических процессов на основе многошагового итерационного поиска преимущественно для деталей типа вал и втулка. Для корпусных деталей эти вопросы не рассматривались.

В работах [30, 31] впервые предложен формализованный метод проектирования схем базирования заготовок и порядка обработки поверхностей полностью соответствующий концепции синтеза индивидуальных технологических процессов, основой которого является представление конструкторской информации с помощью матричных форм.

Главный постулат методики основан на том, что положение любой поверхности в системе координат можно задать шестимерным вектором, каждый элемент которой характеризует линейную ( $x_i, y_i, z_i$ ) или угловую ( $x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha$ ) связь поверхности с рассматриваемой системой координат.

Для отображения этих связей строят шестиклеточные таблицы, в которых представляют булевы переменные (1 – связь существует, 0 – связь отсутствует) (рис. 1.1). Для детали связь поверхностей с системой координат представляется некоторым комплектом шестиклеточных таблиц, отображающих требуемое положение поверхностей.

Поверхности детали связаны не только с системой координат, но и между собой. Физический смысл этих связей заключается во взаимной ориентации поверхностей. Если одну из поверхностей определенным образом ориентировать в системе координат, то и другая поверхность будет ориентирована, но ее положение может быть определено не полностью. Таким образом, для полной ориентации второй поверхности связей первой поверхности с системой координат недостаточно. «Привязка» второй поверхности к системе координат осуществляется как бы косвенно через первую поверхность, которая является базой.

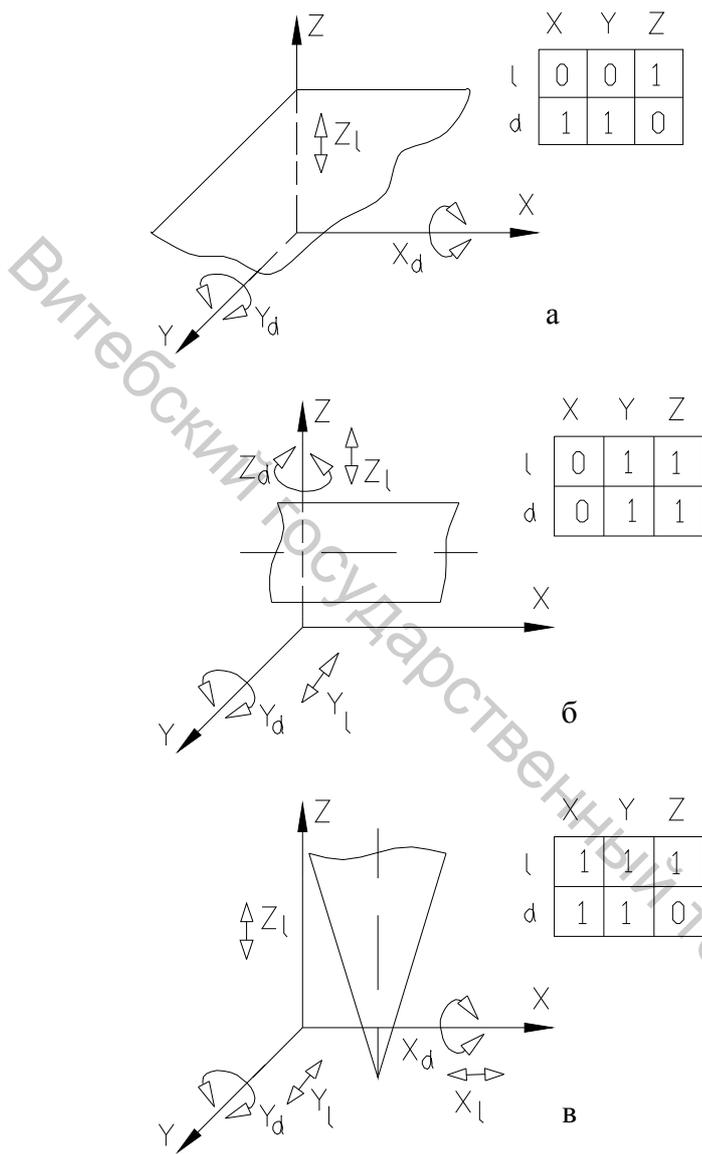


Рис. 1.1 Шестиклеточные таблицы связей

На рис. 1.2 показана некоторая совокупность поверхностей. Для формальной интерпритации геометрической информации о детали построена матрица (см. таблицу 1.1). Элементами матрицы также являются шестиклеточные таблицы, характеризующие пространственную связь между базами и ориентируемыми поверхностями. Они получены путем логического поэлементного перемножения (конъюнкции) шестиклеточных таблиц, находящихся в шапке и боковине матрицы и отображающих положение тех и других поверхностей в системе координат.

Например, при перемножении шестиклеточных таблиц поверхности 3 и ориентируемой поверхности 4 имеем

$$\begin{matrix} 001 & 101 & 001 \\ 110 \end{matrix} \wedge \begin{matrix} 101 \\ 101 \end{matrix} = \begin{matrix} 001 \\ 100 \end{matrix}$$

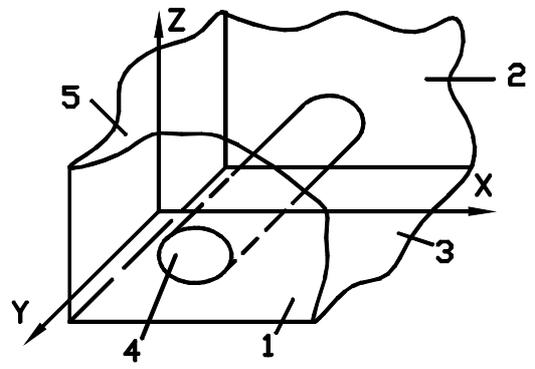


Рис. 1.2 Совокупность поверхностей в системе координат

Номер базы и ее связь с системой координат	Номер поверхности и ее требуемая ориентация				
	1	2	3	4	5
	010 101	010 101	001 101	101 101	100 100
1	010 101	010 101	000 100	000 101	000 001
2	010 101	010 101	000 100	000 101	000 001
3	001 110	000 100	000 110	001 100	001 010
4	101 101	000 101	000 101	001 101	101 001
5	100 011	000 001	000 010	000 001	100 011

Утверждается, что матрица *формально интерпретирует геометрию детали в пространстве*, и позволяет определить возможные пути перехода от поверхности к поверхности.

Каждая из поверхностей матрицы геометрического образа, с одной стороны, требует определенной ориентации (шестиклеточные таблицы, находящиеся в шапке матрицы), с другой – может являться базой, ориентируя деталь определенным образом (шестиклеточные таблицы, находящиеся в боковине матрицы). Механизм образования и сущность элементов матрицы поясняется следующим образом. Если поверхность, указанную в  $i$ -той строке боковика использовать в качестве базы, то поверхности, указанные во втором и последующих  $j$ -тых столбцах, будут лишены некоторых степеней свободы в соответствии с  $ij$ -м элементом шестиклеточной таблицы.

В комплект баз для ориентации  $j$ -той поверхности необходимо включить те базы, логическая сумма шестиклеточных таблиц которых по  $j$ -му столбцу обеспечивает связи, необходимые для требуемой ориентации этой поверхности. Так для поверхности 4 (табл. 1.1) комплект баз состоит из поверхностей 3 и 5, а для 3 – из поверхностей 4 и 5.

Утверждается, что если на матрицу, отражающую конструкторский образ детали (рис. 1.2.), наложить комплекс технологических ограничений (возможность использования поверхности детали в качестве базы, наличие и возможности изготовления оснастки, технологические возможности оборудования), то будет получена технологическая матрица. Технологическая матрица будет отражать конструкцию детали в реальных производственных условиях и обеспечит возможность выбора технологических баз, формирование комплексов поверхностей, что, в свою очередь, позволяет решать задачи синтеза последовательности обработки и формирования технологических операций.

Технологическая матрица состоит из двух частей, число ее строк соответствует общему числу поверхностей детали, а число столбцов – числу обрабатываемых поверхностей. Верхняя часть матрицы характеризует связи поверхностей (номера строк) с частями (номера столбцов) и представляет собой комплекс исходных баз. Нижняя часть определяет множество связей между частями поверхности и является комплексом обрабатываемых поверхностей.

Процесс отыскания возможных вариантов схем обработки и формирования технологических операций заключается в последовательном переносе поверхностей из комплекса обрабатываемых в комплекс баз. Перенос продолжается до тех пор, пока, множество обрабатываемых поверхностей не окажется пустым. Выбор поверхностей, необходимых для переноса, выполняется: по результатам анализа схем ориентирования детали и соответствующим им размерным связям. Ход та-

кого поиска позволяет сформировать граф последовательности обработки поверхностей детали с указанием используемых баз. Этот граф содержит все множество возможных вариантов последовательности обработки поверхностей.

Для выбора из многих вариантов оптимальной последовательности обработки поверхностей необходимо, кроме учтенных ранее факторов, еще рассмотреть технологические возможности оборудования, доступность обрабатываемых поверхностей и пр. На основании комплексного учета всех перечисленных факторов формируются технологические операции и компоуется их последовательность.

Однако методика, изложенная в данных работах пригодна только для случая, когда анализируемые поверхности детали параллельны или перпендикулярны. Кроме того, в них не предложен алгоритм выбора числа связей, которые накладывает выбранная для ориентации других поверхностей поверхность (база), а выбор наилучшего комплекта баз из довольно мощного множества предлагается проводить в режиме диалога с ЭВМ, причем для последнего не указаны формальные правила.

В работе [54] за критерий оптимальности при формализации проектирования размерной структуры технологического процесса механической обработки (заготовок типа вал или втулка) принято минимальное суммарное колебание припусков, удаляемых на всех переходах. Минимальное суммарное количество составляющих звеньев во всех уравнениях размерных цепей и минимальное суммарное колебание составляющих звеньев во всех уравнениях размерных цепей данного технологического процесса является критерием для определения минимального суммарного колебания припусков. Рассмотрено три варианта обработки валика, для которого требования по точности, шероховатости и взаимному расположению поверхностей заданы таким образом, что они могут быть обеспечены после удаления одного слоя металла с каждой поверхности. Анализ уравнений размерных цепей (*в которых замыкающим звеном является припуск*) для трех вариантов ТП позволил установить оптимальный вариант. Описана методика определения оптимальной структуры ТП на основе расчета количества составляющих звеньев в уравнениях размерных цепей и определения положения узлов (баз) на нормальных, ускоренных и замедленных графах и обеспечивающих минимальное суммарное колебание припусков. Однако в работе не учитывается то обстоятельство, что размерная структура технологического процесса обеспечивающего минимальное суммарное колебание припусков далеко не всегда обеспечивает выполнение заданных конструктором чертежных размеров. Несоблюдение этого условия приводит к увеличению себестоимости обработки за счет неизбежного выхо-

да детали в брак. Кроме того в работе ничего не говорится об обеспечении допусков взаимного расположения, заданных на чертеже.

Основой методики автоматизированного проектирования ТП механической обработки, представленной в работе [55], является решение задачи с определением координации поверхностей детали. Основным принцип решения задачи – принцип «наикратчайшего пути», введенный Балакшиным Б.С. В качестве исходных данных для определения последовательности координации поверхностей используют неориентированные графы типа «дерево» содержащие описание отношения связности по размеру между элементами чертежа. Задача определения последовательности координации поверхностей сводится к преобразованию неориентированного графа в направленный граф, с помощью определения корня дерева и процедуры упорядочения и ориентации вершин. Приводится алгоритм определения ориентации корня дерева. Определив корень дерева с помощью определения степени каждой вершины графов, можно определить базу для обработки большинства поверхностей, а определив ориентацию графа с помощью понятия «полустепень» для каждого элемента чертежа определяют элемент, определяющий его положение.

Согласно алгоритму далее необходимо определить связанные группы поверхностей. Далее из ориентированного несвязанного графа строится ориентированный связный граф, с помощью которого можно определить (если полустепень захода равна трем) для обрабатываемых поверхностей различные схемы координации (три взаимно перпендикулярные плоскости; плоскость и две параллельные поверхности вращения, перпендикулярные этой плоскости; взаимно перпендикулярные плоскость и поверхность вращения и плоскость, перпендикулярная к плоскости; три взаимно перпендикулярных поверхности вращения). Если полустепень захода вершины меньше трех, то исследуют вершины смежные с рассматриваемой. Для обработки в одной операции объединяют те поверхности, которые эквивалентны одной и той же базовой поверхности.

Однако в работе не учтено то обстоятельство, что при проектировании технологического процесса необходимо в первую очередь обеспечить заданные чертежом требования взаимного расположения поверхностей (перпендикулярность, угловое расположение), а затем только размеры, также не приводится алгоритм назначения числа связей накладываемых базовыми поверхностями. Отсутствуют формальные правила назначения баз внутри этапов типовой схемы механической обработки.

Проблеме моделирования процесса выбора баз при машинном проектировании технологических процессов посвящена работа [56]. Для назначения технологических баз предлагается использовать геометрическую схему технологическо-

го процесса (ГСТП), под которой понимается совокупность поверхностей заготовки, предварительно обработанных поверхностей и поверхностей готового изделия, а также размеров и соотношений, связывающих все эти поверхности. ГСТП представляется в виде графа, в котором вершины – элементарные или типовые поверхности, а ребра – размеры или условия взаимного расположения.

За критерий оптимальности назначения баз (узлов на графе) выбрана сумма стоимостных оценок тех элементов обработки изделия, которые в наибольшей степени зависят от выбранной совокупности технологических баз:

$$C_{\Sigma} = \min \Sigma (g_{is1} + g_{is2})$$

где  $g_{is1}$  – затраты на зарплату основных рабочих, эксплуатацию и амортизацию станочного оборудования и режущего инструмента, отнесенные к переходу;  $g_{is2}$  – приведенные затраты на эксплуатацию и амортизацию установочно-зажимных приспособлений.

Задача назначения технологических баз формулируется как задача построения графа с заданными свойствами. Каждой вершине  $\Pi_{i\alpha i}$  графа  $G=(\Pi, R)$  приписан кортеж элементов которого являются кодами геометрической формы поверхности и кодами вида обработки. Каждому ребру соответствует номинальное значение размера, допуск на размер, код координатного направления размера. Вершины графа можно соединять дугами – технологическими размерами  $S_{ij}=(\Pi_i \Pi_j)$  для каждой из которых вычисляется кортеж, элементами которого являются: минимальное значение операционного размера, допуск на операционный размер, код координатного направления размера, вес дуги  $S_{ij}$ . Вес дуги  $g_{ij}=g_{is1} + g_{is2}$ . Где  $g_{is1}$  является функцией от допуска на размер и кода геометрической формы поверхности;  $g_{is2}$  является функцией кода геометрической формы поверхности, вида обработки поверхности и размера

Задача назначения технологических баз решается построением надграфа, имеющего минимальный суммарный вес дуг  $C_{\Sigma} = \min \Sigma (g_{is1} + g_{is2})$

Для решения задачи строится полный симметричный граф, находятся кратчайшие пути, некоторым дугам приписываются штрафы, назначаются вторичные размеры, выбираются черновые базы.

Однако эта работа направлена на анализ графов для детали типа «*втулка и вал*», в котором ребра – размеры. Правил построения графа по условиям взаимного расположения поверхностей и формальных правил определения числа связей накладываемых базовыми поверхностями нет. Неясно как численно определяют значения  $g_{is1}$  и  $g_{is2}$ .

В работах [57-66] предлагается рассматривать деталь не как совокупность взаимосвязанных поверхностей, а как совокупность взаимосвязанных функцио-

нальных модулей. В них приводится общая концепция модульной технологии, вопросы инструментального обеспечения, проектирования приспособлений, результаты внедрения принципов модульной технологии изготовления деталей, а так же рассмотрены вопросы построения модульных технологических процессов и методология их автоматизированного проектирования [61].

Под модулем поверхностей (МП), понимается сочетание поверхностей или отдельная поверхность, выполняющие соответствующую служебную функцию детали.

В работе [61] деталь представлена множеством  $A=(G_i, \dots, G_m)$ . Каждый его элемент является упорядоченным множеством элементарных поверхностей детали, называемых группой элементов  $G_i=(a_i, \dots, a_j)$ . Группа получается на основании логического условия, построенного на отношении смежности (связи)  $R$  между элементами детали. Группой из  $k$  элементов называется такое сочетание, для которого найдутся один или два несмежных между собой элемента (основание группы), с которым остальные  $(k-2)$  элементов (контур группы) имеют отношение смежности, а сами они последовательно смежные между собой. Элементы объединяют: по технологическому признаку в комплексные группы и по служебному назначению – в МП, по технологическому признаку в агрегатированные группы.

Конструкторские связи между элементарными поверхностями (элементами) детали или осями (точками) отражаются бинарными отношениями  $(a_i R a_j)$  где  $R=\alpha, L$  и  $\beta$ ;  $\alpha$  – отклонение взаимного расположения элементов от номинала;  $L$  – координирующие и собственные размеры элементов;  $\beta$  – угловые размеры). Конструкторские связи представляются множеством  $M=(M_1..M_i,.. M_j)$ , где  $M_i$  – элементарный путь графа связей  $R$  и множеством  $V=(R_1..R_i,.. R_j)$ , где  $R_i$  – численное значение связей.

Проектирование технологического процесса должно сводиться к его компоновке из технологических блоков (ТБ), однако не указано как это сделать. ТБ – часть технологического процесса, разработанная для конкретного МП. ТБ содержит последовательность переходов обусловленную конструктивным оформлением МП детали, его размерами, требованиями к качеству, а также заготовительным интегральным модулем МПИЗ, который определяет обрабатываемый материал и величину припусков, подлежащих съему с каждой поверхности МП. Для осуществления ТБ предлагается создавать соответствующие станочные модули (МС), модули приспособлений (МПр), инструментальные модули (МИ) и модули контрольно-измерительных средств (МКИ).

Технологические базы предлагается выбирать следующим образом. Из мно-

жества  $V$  выделить те внешние связи, которые относятся к МП, представляющим собой основные и вспомогательные базы детали. На основании результатов последовательного анализа связей  $\alpha$ ,  $L$  и  $\beta$  и условий доступа к обрабатываемым поверхностям определить множество МП, представляющие собой вспомогательные базы детали, которые можно обработать от МП, являющихся ее основными базами. Затем аналогичным образом от МП, включающих в себя поверхности вспомогательных баз, необходимо определить те от которых могут быть обработаны МП, включающие в себя поверхности основных баз, а также базы для оставшихся МП.

Однако следует отметить, что в работе не предлагается методика формирования множеств  $M$  и  $V$ . Утверждается, что связи  $R$  можно ранжировать при выборе технологических баз (приоритет связей  $\alpha >$  приоритета связей  $L \gg$  приоритета связей  $\beta$ ) и в том случае, если требования к отклонениям взаимного расположения элементов на чертеже не проставлены, то они не высоки, а для выбора технологических баз необходимо проводить анализ связей  $L$  и  $\beta$ . Не учитываются положения ГОСТ на неуказанные требования взаимного расположения поверхностей.

В работе не учитывается то, что далеко не все МП могут как комплект ТБ включить 6 связей, и в комплект ТБ необходимо включать компоненты нескольких МПИ. Не предложена методика определения числа связей, которая накладывает база. Не учтены положения о том, что базы (как на первой операции, так и на последующих) необходимо определять для каждого этапа механической обработки с учетом конфигурации заготовки на этапе.

В работе [67] излагаются результаты исследований сотрудников Объединенного института информатики НАНБ по моделированию машиностроительных объектов, а также формализации и алгоритмизации процессов проектирования на всех стадиях создания новой продукции на основе понятия элемент конструкции. Излагаются основы концептуальной модели структурной организации машиностроительных конструкций, описано представление конструктивных элементов в структурно-параметрической модели. Приведен обзор САПР технологической оснастки (сверлильных, токарных фрезерных приспособлений) описывается сквозной технологической линии конструирования и запуска в производство деталей типа «тела вращения». Вопросы синтеза маршрута обработки, схем базирования и операций механической обработки для корпусных деталей не рассматриваются.

В некоторых работах по алгоритмизации проектирования маршрута обработки заготовки размерные и пространственные связи не рассматривались вовсе.

Так в работе [68,69] предлагается маршрут обработки заготовки формировать на основе множества элементарных технологических переходов для поверхностей и совокупности правил (ограничений) на совмещение элементарных переходов и последовательности их выполнения. Под этими правилами понимаются следующие выражения: нельзя в различных позициях выполнять переход  $X_i$ ; каждый переход должен быть реализован на одной позиции; на одной позиции выполняются только совместимые переходы. Метод основан на методе ветвей и границ и на методе Магу.

В работе [70] предлагается определять последовательность обработки технологических элементов комбинаторным методом, сокращая возможные варианты с помощью матрицы приоритетов и обязательных последовательностей, которые формируются на основе эвристических правил типа: «Для предотвращения прерывистого резания необходимо применить точение до фрезерования на деталях типа тел вращения, наружное круглое шлифование до сверления». Определена матрица обязательных последовательностей для деталей типа корпус. Основное внимание при этом уделено следующим типам поверхностей: плоскостям (FLAECHE); уступам, образованным из плоских поверхностей (ABS); отверстиям (BOR); канавкам или пазам (NUT). Предпосылками для установления взаимосвязей между каждыми из двух взаимосвязанных поверхностей являлись: соотношение по расположению между рассматриваемыми поверхностями; соотношения по размерам между поверхностями и требуемое качество поверхностей; минимальный припуск.

Однако в этой работе также нет рекомендаций по назначению технологических баз и синтезу схем установки. Не учитывается то положение, что точные поверхности обрабатываются несколько раз на каждом из этапов типовой схемы обработки.

В работах [71, 72] также описывается решение задачи построения структуры расточных операций комбинаторными методами с помощью последовательного преобразования ряда матриц на основе выявления ряда ограничений (как по формальным правилам, так и на основе опыта и интуиции технолога).

В работе [27] описывается система поддержки принятия решений при проектировании маршрута обработки заготовки на агрегатных станках. Формирование регламентов на синтез ТП предлагается осуществлять в два этапа. На первом этапе учитываются так называемые «сложившиеся неформальные правила проектирования подобного класса ТП», некоторые инженерные эвристики и возможности агрегатного оборудования в конкретных условиях: выделение черновых, получистовых и чистовых переходов; необходимость или недопустимость совмещения отдельных групп переходов в одном блочном переходе (обусловлена

повышенной точностью взаимного расположения конструктивных элементов лежащих на одной или нескольких сторонах), невозможность обеспечения общих параметров режима обработки и др. На втором этапе в группы сформировавшихся ограничений проектировщиком вносятся правка внесением своих ограничений. Синтез ТП осуществляется по оптимизационным моделям, в которых целевая функция отражает стремление минимизировать стоимость оборудования, а ограничения обеспечивают производительность, определяют выполнение всех переходов, выполнение условий предшествования операций и их совмещения в блоке и на позиции, а также ограничения на число блоков на позиции. Вопросы обеспечения требований взаимного расположения поверхностей при смене баз, а также проблема синтеза схем базирования и установки не рассматривается.

В работах [29, 73-79 и др.] описываются подходы представления информации в виде семантических сетей, фреймов, сценариев, аксиоматического и процедурального описания и т.п. В работе [29] приводится описание макета системы разработанной в МГТУ «Станкин», позволяющей в определенной степени воспроизвести интеллектуальные функции технолога. Задача проектирования элементов ТП сводится к переводу входного языка (язык графических образов) на выходной (язык технологических действий) т.е. построению технологического транслятора. Основные термины языка описания объектов избраны такие как Объект, Свойства объекта, Состояние объекта, Действие, Условие применения действия, Среда и др.

Все эти подходы основаны на понятиях искусственного интеллекта и баз знаний, создаваемых с помощью специалистов предметной области, как правило, исходя из собственного опыта и интуиции. Каких либо правил, алгоритмов, моделей создания таких систем для синтеза индивидуальных технологических процессов обработки корпусных деталей в этих работах не приводится.

Среди множества работ по технологическим размерным расчетам и способам их автоматизации [80-84 и др.] особенно следует отметить работу [84]. В ней приводится методика точностного анализа спроектированного технологического процесса на основе анализа размерных схем и схем отклонений расположения поверхностей. Здесь приводятся принципы однозначности ориентации оси или плоскости относительно установочной и направляющей баз детали. Однако методики назначения комплектов технологических баз и порядка обработки не приводится.

В этой работе допускается, чтобы одно из требований регламентировало допустимое отклонение от перпендикулярности оси, а другое допустимое отклонение от параллельности. Однако при таком задании допуска происходит дублирование поля допуска перпендикулярности.

Говорится, что требования по допустимому отклонению от параллельности может быть и не задано, тогда оно подразумевается заданным в пределах допуска на размер. Как выбирать базы и численные значения допусков, если не задан непосредственно чертежом допуск перпендикулярности не говорится, хотя существует ГОСТ на неуказанные допуски взаимного расположения.

Во многих работах по методикам проектирования и системам автоматизации проектирования технологических процессов:

поддерживаются и развиваются методики проектирования типовых и групповых технологических процессов;

даются рекомендации общего характера по организационному, методическому и математическому обеспечению САПР, проектированию технологии [85-101];

описываются системы проектирования деталей типа валов и втулок [23, 94, 103, 104];

излагается проектирование некоторых процедур по типовым математическим моделям [87, 94, 105, 106];

представляются диалоговые системы проектирования [107-110].

Многие рекламные публикации по САПР ТП и методикам проектирования маршрута обработки, технологических баз и операции носят рекламный характер: «Наша система позволяет сделать все!!!». Однако при оценке возможностей систем оказывается, что ее возможности сильно преувеличены. В таких работах, как правило, *не приводится каких-либо структурных моделей, алгоритмов либо аналитических зависимостей, с помощью которых возможно оценить систему или методику.*

Опыт эксплуатации современных CAD/CAM системы, как зарубежных, так и отечественных (CATIA, Pro/ENGINEER, CADD5, EUCLID, UNIGRAPHICS, DUCT MicroStation, CADdy, ADEM, SolidWorks (SWR-технология), T-FLEX (ТЕХНОПРО), КОМПАС (АВТОПРОЕКТ, Вертикаль), СПРУТ (GTP, САПР ТП), «Интермех» (Techcard), Consistent Software (TechnologiCS, FOBOS) и др.), показывает, что с помощью этих систем в настоящее время нельзя в автоматическом режиме для корпусных деталей, изготавливаемых в серийном производстве, осуществлять синтез схем базирования и установки, обеспечивающих на стадии проектирования заданные требования взаимного расположения элементов конструкции, осуществлять синтез операций технологического маршрута, формировать технологические цепи, оценивать допустимость принятого маршрута и схем базирования, а также выдавать задание на проектирование конструкции станочных приспособлений.

## 1.2. Анализ работ по теории базирования

Важнейшей причиной различия подходов к определению понятий «базирование», «база», и др., формализации «выбора баз», а также отсутствия работоспособных формальных методик назначения схем базирования, схем установки и маршрута обработки заготовок корпусных деталей и в целом САПР ТП синтеза для корпусных деталей является несовершенство некоторых положений *теории базирования*.

Несмотря на многочисленные работы крупных советских ученых, посвященные вопросам базирования в машиностроении, и введение ГОСТ21495-77 «Базы в машиностроении. Термины и определения» до сих пор в странах СНГ по этой проблеме имеют место нарекания на ГОСТ и споры. Причиной такого разночтения и неопределенности является то обстоятельство, что при формулировании основных терминов и определений не было четкой опоры на задачи, которые решаются при базировании.

Теорией базирования в машиностроении занималось много крупных исследователей. В ранних работах (Гладков К.М., Маслов Д.П., Глущенко Е.И., Каратыгин А.М., Анненкова Е.Г. и др.) не наблюдался единый подход к классификации баз и к формированию основных понятий и определений теории. Выбор комплекта технологических баз рекомендовалось осуществлять на основе рекомендаций общего характера, пригодных для некоторых типов деталей (Якобсон М.О., Эттель А.В., Беспалов Б. Л., Глейзер Л.А. и др.) [111-121].

К 1976 году под руководством Б.С. Балакшина была разработана четкая иерархическая классификация основных понятий и определений теории базирования, отраженная в ГОСТ 21495-76 «Базы в машиностроении. Термины и определения» (далее ГОСТ). Последователи и ученики Б.С. Балакшина (Воробьев Л.Н., Гусев А.А., Соломенцев Ю.М., Колесов И.М. и др.) в своих исследованиях часто использовали основные положения ГОСТа [122-131].

Но после издания ГОСТа появились работы, авторы которых не согласны с некоторыми его положениями. В работе [132, 133] говорится о том, что в зависимости от технологической задачи, решаемой при обработке заготовки, при ее базировании в приспособлении или на станке может быть использована одна, две или три базы, несущие на себе в общей сложности три, четыре, пять или шесть опорных точек. Это же утверждение поддерживается и в работе [134]. Введено понятие настроечной базы, под которой понимается поверхность заготовки, по отношению к которой ориентируются обрабатываемые поверхности, связанная с



схем базирования не приводятся, как не показано, впрочем, ни одной как таковой «схемы» базирования или установки.

В работе [137] утверждается то, что количество опорных точек (точек соприкосновения с установочными компонентами) на схеме базирования может быть и больше, и меньше шести. Приводятся примеры «схем базирования» с тремя, семью и даже девятью

опорными точками (рис. 1.5.). Но автор этой работы смешал понятия реального базирования, когда на количество реальных точек сопряжения влияют погрешности технологических баз и установочных элемен-

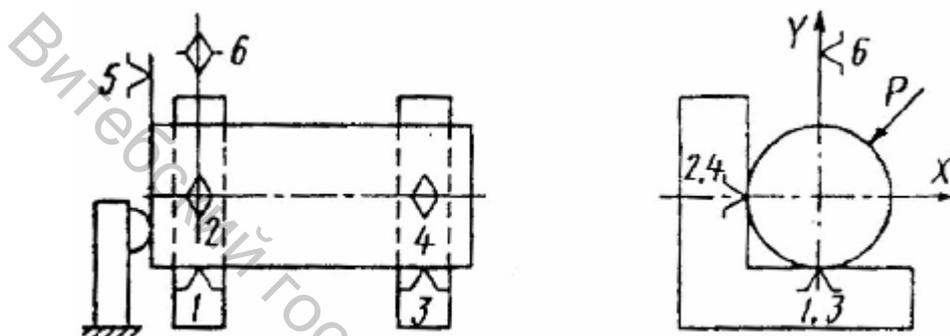


Рис. 1.6 Иллюстрация определения схемы базирования по Емельянову

тов, и проектного базирования, результатом которого является разработанная схема базирования.

В работе [138] поддерживается идея о разграничении понятий реального и проектного базирования, однако в ней не определена цель разработки теоретической схемы базирования и отсутствует понятие теоретической схемы установки. В связи с этим у автора в примерах не всегда верно проводится базовая система координат, а также смешиваются понятия теоретической схемы базирования и теоретической схемы установки (рис. 1.6).

В работах [139-141] вообще отсутствуют значки баз, а приводятся либо схемы установки некоторых классов деталей, либо конструктивное оформление приспособления, называемое «схемой базирования» [141].

В работе [142] приводятся классификация схем базирования «с замыканием по силе и по моменту». Осеопорная база с замыканием по моменту имеет вид, приведенный на рис. 1.7., однако какого –либо обоснования такой классификации с точки зрения реального использования не приводится.

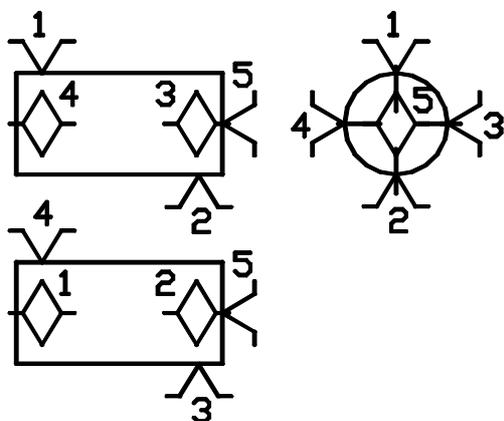


Рис. 1.7. Иллюстрация осеопорной базы

Особенно жесткой критике подвергся ГОСТ 21495-77 в работе [143,144] Ф.Н. Аб-

рамова. Но и там, в предлагаемых новых терминах, не учитывается, что понятие базирование используется в двух совершенно различных ситуациях. К первой относится *решение задач эксплуатации* специальной, специализированной и универсальной оснастки для изготовления деталей, для сборки машин и для контроля. Ко второй – *решение задач проектирования* указанной оснастки. В первой ситуации рассматривается пространственное взаимодействие *реальных объектов*, а во второй – их *моделей*.

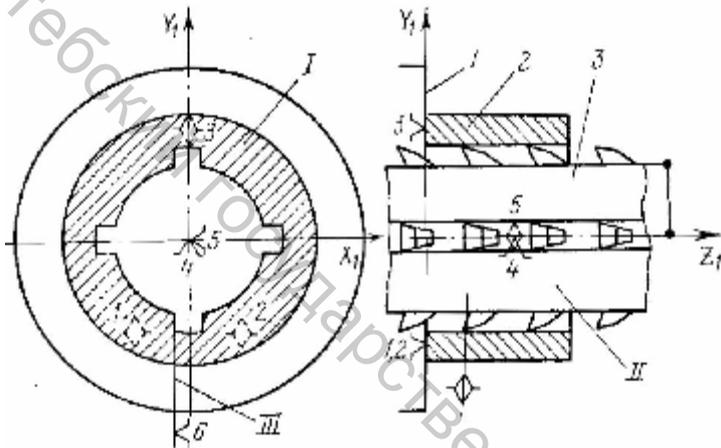


Рис. 1.8. Схема иллюстрации передачи базирующей подсистемы протяжке

Кроме того, особо следует отметить, что если на схеме базирования не указываются выдерживаемые размеры [54,137-144], то процесс ее разработки вовсе теряет всякий смысл.

В работе [145] высказывается справедливая идея о том, что в некоторых случаях механической обработки функцию базирующей подсистемы полностью или частично может выполнять инструмент. Так при протягивании шлицевой втулки (рис. 1.8) комплект баз состоит из трех явных баз. Утверждается, что установочная база 1 лишает заготовку трех степеней свободы и реализуется элементом технологической машины, направляющая база 2 (хотя это двойная опорная база) лишает заготовку двух степеней свободы (точки 4,5), а опорная 3 – одной степени свободы (точка 6). Причем направляющая и опорные базы реализованы на инструменте. Идея о материализации баз на инструменте является основой для определения критерия сложности базирующей подсистемы: чем больше баз не имеющих структурных связей с инструментом тем базирующая подсистема сложнее.

В работах [146-147] теория базирования рассматривается с системных позиций. В виде тезисов утверждается необходимость разграничения понятия «база» и «базирование» на различных областях их действия, т.е. при конструировании, механической обработке и сборке, реальном и проектном базировании. Однако идея не получила дальнейшего развития, не приводится каких либо правил, алгоритмов и т.д.

В работах [146-147] теория базирования рассматривается с системных позиций. В виде тезисов утверждается необходимость разграничения понятия «база» и «базирование» на различных областях их действия, т.е. при конструировании, механической обработке и сборке, реальном и проектном базировании. Однако идея не получила дальнейшего развития, не приводится каких либо правил, алгоритмов и т.д.

Одним из ключевых понятий теории является понятие погрешности базирования и погрешности установки. Под погрешностью базирования согласно ГОСТ21495-76 «Базирование и базы в машиностроении» понимается отклонение

фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от заданного, а под погрешностью установки – отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого. Под установкой понимается процесс базирования и закрепления заготовки.

Однако в работах [148, 149] под погрешностью установки понимается неточность положения заготовки, режущего инструмента, приспособления и др. относительно баз станка. За них принимают вспомогательные базы (как правило, направляющие) по которым перемещаются сборочные единицы, несущие исполнительные поверхности. Базы станка называются базами установки. Эта идея поддерживается в работах [150, 151] и приводится методика расчета погрешности базирования, под которой понимается несовпадение измерительных и технологических баз, с помощью матриц влияния.

Появление такого множества трактовок, концепций и подходов к проблеме базирования, очевидно, является причиной несовершенства положений указанного ГОСТ, а именно:

1. в ГОСТ 21495-76 «Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения» в один уровень классификации (согласно которой все базы подразделяются на конструкторские (основные и вспомогательные), технологические и измерительные) выделены понятия по разным признакам; первое понятие относится к детали, а два других к поверхностям детали;

2. под понятием «базирование» согласно ГОСТ 21495-76 понимается «придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат»; таким образом, понятие базирования относится исключительно к заготовке или изделию целиком, а не к поверхностям или элементам конструкции;

3. в положениях ГОСТ (несмотря на то, что имеются понятия проектной и действительной базы, приводятся примеры разработки схем базирования), четкого разграничения понятий проектного и реального базирования теоретической схемы базирования и установки *для каждого из этапов «жизни» объекта производства* нет; так при иллюстрации технологической базы (под которой понимается база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта) приводится пример реальной установки *заготовки* в приспособлении при механической обработке;

4. в определении технологической базы ничего не говорится о *цели проектирования схемы базирования и комплекта баз* при механической обработке, сборке и контроле; при проектировании схемы базирования механической обработки относительно комплекта технологических баз (под которыми понимаются совокупность поверхностей заготовки) ориентируется *обрабатываемая поверхность*

или их сочетание; на этапе проектирования схемы установки – *заготовка* ориентируется относительно проектных установочных компонентов, а на этапе реальной установки заготовки на станке происходит ориентация заготовки относительно приспособления.

### 1.3. Выводы и постановка задачи работы

1. основой работающих в промышленности САПР ТП является либо процесс выбора технологом необходимого текста операции и переходов (системы формирования), либо процесс анализа типового технологического процесса–аналога, созданного исходя из опыта и традиций ограниченного числа предприятий (системы анализа или адресации), а не общие закономерности, принципы, утверждения и алгоритмы технологии машиностроения;

2. в серийном производстве машин, такие детали, как корпуса, кронштейны и т.п., чаще всего относят к числу оригинальных, и на них проектируется индивидуальная технология;

3. методики и формальные процедуры синтетического этапа проектирования индивидуальных технологических процессов изготовления корпусных деталей (включающие такие трудноформализуемые процедуры, как назначение схем базирования, схем установки, выбор маршрута и основных технологических операций, выбор условий обеспечения заданной точности обработки и др.) разработаны не до конца; принятие проектных решений часто основывается на опыте и интуиции проектировщика, поэтому для деталей данного класса нет работоспособных САПР ТП, позволяющих выполнять указанные процедуры в автоматическом режиме;

4. важнейшей причиной отсутствия работоспособных формальных методик назначения схем базирования, схем установки и маршрута обработки заготовки, а также САПР ТП синтеза для корпусных деталей является несовершенство положений ГОСТ21495-77; до сих пор в странах СНГ имеют место нарекания на указанный ГОСТ и споры, однако в многочисленных работах посвященных теории базирования не описываются задачи, которые решаются при базировании, нет четкого разграничения понятий проектного и реального базирования, теоретической схемы базирования и установки при конструировании, механической обработке, сборке и контроле и, как следствие, не приводится формальных методик, алгоритмов, правил назначения теоретических схем базирования и схем установки.

Таким образом, *задачами настоящей работы* является:

- доработка положений теории базирования для ее превращения в инструмент для формализации процесса синтеза схем базирования и установки обеспечивающих на стадии проектирования заданные требования взаимного расположения элементов конструкции корпусных деталей, а также для разработки задания на проектирования конструкции станочных приспособлений;
- оценка конструктивно-технологических особенностей корпусных деталей для свертки конструкторской информации в форму удобную для принятия технологических решений на этапе проектирования маршрута обработки, схем базирования и схем установки;
- разработка метода формализованного синтеза комплектов технологических баз, порядка выполнения переходов внутри этапов типовой схемы механической обработки корпусных деталей;
- разработка методика и массива типовых проектных решений по определению вида компонентов (установочная, направляющая, опорная и т.д.) комплекта технологических баз;
- разработка метода формализованного синтеза теоретической схемы установки, как задания на проектирование конструкции станочного приспособления для корпусной детали;
- апробация и внедрение методик и программных продуктов.

## ГЛАВА 2

### ТЕОРИЯ БАЗИРОВАНИЯ В ПРОБЛЕМЕ РАЗРАБОТКИ САПР ТП МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ОСНАСТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

#### 2.1. Проектное и реальное базирование. Понятие конструкторской и технологической проектных баз

Задачи создания систем автоматизации проектирования технологических процессов механической обработки в машиностроении связаны с необходимостью поднятия технологической науки на качественно новый уровень развития, соответствующий превращению ее в формализованную точную науку. Это положение применимо в частности и к теории базирования.

Для превращения положений теории базирования в инструмент для формализации проектирования технологических процессов и станочной оснастки необходимо разграничить понятия теоретической схемы базирования и схемы установки, проектного и реального базирования. Эти понятия необходимо рассматривать отдельно при конструировании, механической обработке, сборке и контроле. Нужно четко определить цели проектного и реального базирования.

Для этого, *под практической целью теории базирования* предлагается считать то, что теория базирования должна служить основой и составной частью решения задач проектирования (как ручного, так и автоматизированного) *технологических процессов и технологической оснастки для механической обработки, сборки и контроля*. Поэтому понятия и термины теории базирования должны способствовать достижению поставленной цели.

Любая техническая система, в том числе и технологическая оснастка, создается для выполнения определенного набора функций. Причем главной функцией технологической оснастки является *ориентирование*. Для станочных приспособлений это такое ориентирование *обрабатываемых компонентов заготовки* по отношению к направлениям рабочих движений станка и формообразующего компонента инструмента, которое *обеспечит заданную точность относительных поворотов* (перпендикулярность, параллельность, угол) и расстояний. Для сборочных приспособлений это такое ориентирование сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей, которое обеспечит известные условия собираемости. Для контрольных приспособлений и комплексных калибров это такое ориентирование контролируемых компонентов относительно компонентов проверяемой детали,

служащих началом отсчета, которое обеспечит надежное обнаружение (разделение) годных и забракованных деталей.

По назначению базы предлагается делить на: *конструкторские и технологические*, которые в свою очередь подразделяются на базы механической обработки, сборочные и измерительные.

*Конструкторские базы* используются для задания взаимного расположения (параллельности, перпендикулярности или в общем случае угла) элементов детали.

*Технологические базы механической обработки* используются для *ориентации заготовки или элементов заготовки в заданной зоне станка и при проектировании технологического процесса обработки детали*. В первом случае технологические базы называют *реальными базами*, а во втором – *проектными базами*.

В технологии машиностроения используются три метода реального базирования: 1) *сопряжением*; 2) *выверкой по разметке*; 3) *выверкой по реальной технологической базе*.

*Технологические сборочные базы* используются для взаимной ориентации деталей, сборочных единиц или их элементов при сборке изделия и при *проектировании* технологии сборки. *Основной сборочной базой* называют совокупность поверхностей детали или сборочной единицы, которая определяет ее положение в изделии. *Вспомогательной сборочной базой* называют совокупность поверхностей детали или сборочной единицы, которая определяет положение присоединяемой к ней детали или сборочной единицы.

*Измерительные базы* используются при измерении отклонений взаимного расположения (параллельности, перпендикулярности или в общем случае угла) и при *проектировании* средств измерения. Реальная измерительная база служит для ориентации средств измерения. Она должна совпадать с конструкторской во избежание погрешности схемы измерения.

Таким образом, база – это элемент детали, заготовки, сборочной единицы (или сочетание элементов детали, заготовки, сборочной единицы), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат, по отношению к которой может осуществляться ориентирование других: компонентов детали, заготовки, компонентов заготовки, деталей, сборочных единиц или средств измерения.

Прежде чем изготавливать деталь разрабатывают ее графическую модель (чертеж), модель технологического процесса ее изготовления и лишь затем модели необходимой оснастки.

На чертежах деталей часто указываются базы, которые и называются *конструкторскими*. **Конструкторская база** – элемент геометрической (графической) модели детали (или сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей декартовой системы координат, по отношению к которой задается ориентация другого (*рассматриваемого*) элемента. Пример указания конструкторских баз указан на рис 2.1. Ориентация *рассматриваемого элемента* на чертежах

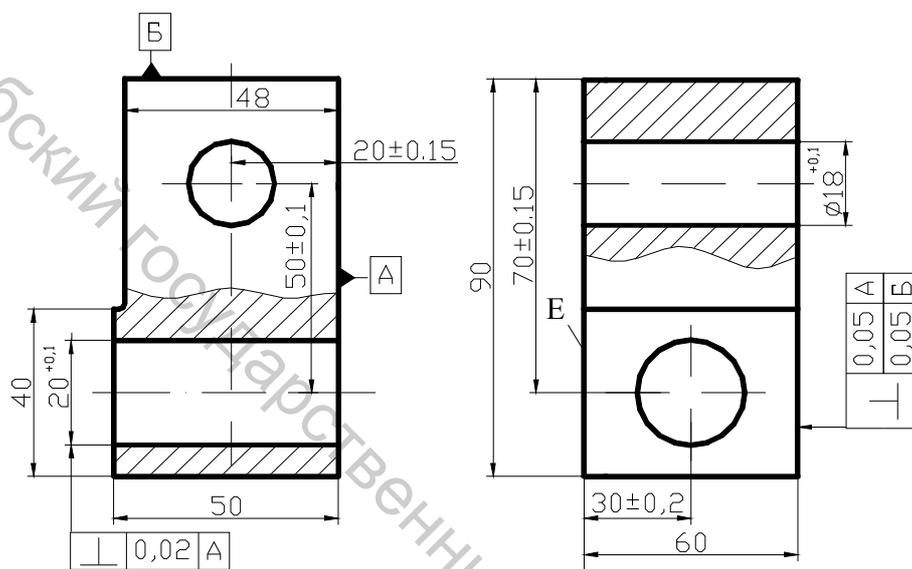


Рис. 2.1 Эскиз детали

указывается допусками взаимного расположения (или задается по умолчанию согласно ГОСТ 25069-81) и расстояниями до нескольких конструкторских

баз, которые называют **комплексом конструкторских баз ориентации**. Так, например, ориентация оси отверстия  $\varnothing 20^{+0.1}$  задана по отношению к двум комплексам конструкторских баз ориентации:

1. с помощью допуска перпендикулярности по отношению к базе А и с помощью линейных размеров  $50 \pm 0,1$  по отношению к оси отверстия  $\varnothing 18^{+0.1}$  и линейного размера  $30 \pm 0,2$  по отношению к плоскости Е (комплект баз ориентации – две плоскости (А и Е) и ось отверстия  $\varnothing 18^{+0.1}$ );

2. с помощью допуска перпендикулярности по отношению к базе А и с помощью линейных размеров  $70 \pm 0,15$  по отношению к плоскости Б и линейного размера  $30 \pm 0,2$  по отношению к плоскости Е. (комплект баз ориентации – три плоскости (А, Б и Е)).

Основными видами расположения элементов при конструировании деталей являются: *параллельность, перпендикулярность, угол, соосность, симметрия*. Причем два последних вида являются производными от параллельности.

При проектировании технологических процессов механической обработки или станочных приспособлений с учетом порядка обработки следует указывать *проектные технологические базы механической обработки* (далее технологические базы). **Технологической базой** будем называть элемент геометрической

(графической) модели заготовки, отражающий ее состояние после выполнения рассматриваемой операции и определяющий одну из плоскостей или осей декартовой системы координат, по отношению к которой задается расстояние и точность расположения *обрабатываемого элемента конструкции*. Указанную систему координат логично назвать *собственной*, так как она строится на элементах модели детали, или *базовой*, так как она определяет комплект баз, по отношению к которому полностью ориентируется обрабатываемый элемент конструкции (*комплект технологических баз ориентации*).

## **2.2. Практические аспекты теории базирования при механической обработке**

### **2.2.1. Порядок проектирования станочной оснастки**

Процесс *проектирования* любой технической системы, (в том числе и технической оснастки), предназначенной для выполнения заданных функций, по существу представляет собой формирование цепочки последовательно уточняемых моделей. Причем особенностью проектной модели является отсутствие материального объекта (оригинала), создание которого является конечной целью проектирования.

Проектирование станочного приспособления предлагается осуществлять с помощью цепочки следующих процедур:

1. синтезировать его функциональную модель (список основных, вспомогательных и дополнительных функций);
2. определить характеристики окружающей среды (элементов станка, на котором будет использоваться приспособление);
3. *синтезировать схему базирования;*
  - 3.1. *идентифицировать технологический комплект баз ориентации*
  - 3.2. *определить вид компонента комплекта баз;*
4. *синтезировать схему установки;*
5. *провести анализ допустимости выбранной схемы установки;*
6. разработать конструктивную схему (компоновку) приспособления с определением размеров выбранных элементов;
7. выполнить параметрический синтез приспособления (силовой расчет и расчет на точность);
8. разработать рабочие чертежи приспособления.

Процедуры 3,4,5 играют особую роль в процессе проектирования технологического процесса и приспособления – с их помощью на стадии проектирования

решаются задачи обеспечения заданных чертежом требований к точности взаимного расположения элементов конструкции. Формализация проектирования этих процедур и рассматривается в монографии.

При переходе от первого этапа проектирования к последнему происходит наращивание объема информации о процессе реального базирования. Однако никогда модель реального базирования не может быть тождественна реальному процессу.

### **2.2.2. Задание взаимного расположения элементов конструкции на чертежах и операционных эскизах**

Анализ операционных эскизов и чертежей деталей показал, что всего возможно четыре варианта *комплектов баз ориентации* конструктивных элементов (см. табл. 1):

а) три взаимно перпендикулярные плоскости, среди которых может быть плоскость симметрии (таблица 1 поз. 1);

б) плоскость и две оси, перпендикулярные к ней (таблица 1 поз. 3);

в) две взаимно перпендикулярные плоскости и ось, которая перпендикулярна к одной из них (в частном случае ось может лежать в плоскости, которая в общем случае параллельна оси) (таблица 1 поз. 2);

г) плоскость и две оси, одна из которых перпендикулярна, а другая параллельна этой плоскости (в частном случае она может лежать в этой плоскости) (таблица 1 поз. 4).

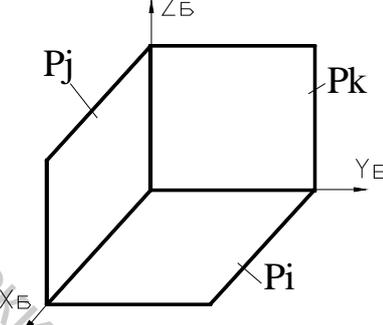
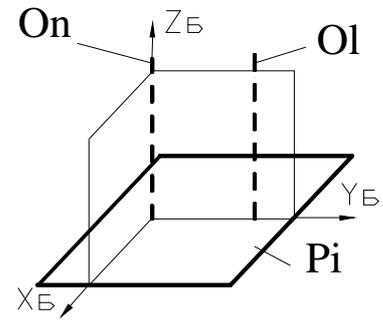
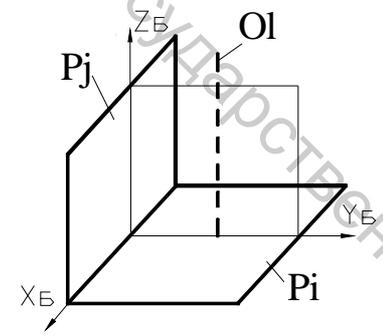
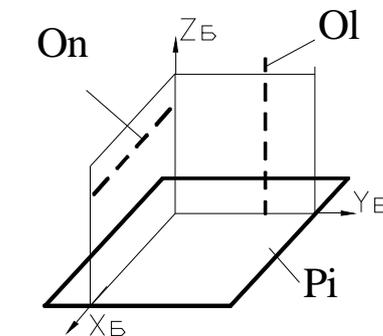
В частных случаях вариантов 2 и 4 оси могут лежать в плоскостях, которым они параллельны. В варианте 1 одна из плоскостей может быть плоскостью симметрии. Плоскость и оси симметрии согласно ГОСТ 21495-77 называются *скрытыми технологическими базами*, остальные базы комплекта – *явными технологическими базами*.

Отталкиваясь от понятия проектной технологической базы, можно ввести понятие *проектное базирование* (в дальнейшем базирование). *Базированием* будем называть введение системы отсчета или введение собственной системы координат сопряженной (соприкасающейся) с технологическими базами.

На этапе *идентификации комплекта баз ориентации* определяется состав поверхностей заготовки, по отношению к которым заданы допуски взаимного расположения и размерные связи до обрабатываемых конструктивных элементов.

Таблица 2.1

## Варианты комплектов баз ориентации конструктивных элементов

1		3	
	$P_i \perp P_j \perp P_k$		$(O_l \perp P_i) \wedge (O_n \perp P_i)$
2		4	
	$P_i \perp P_j$ $((O_l // P_i) \wedge (O_l \perp P_j)) \vee$ $((O_l // P_j) \wedge (O_l \perp P_i))$		$((O_l \perp P_i) \wedge (O_n // P_i)) \vee$ $((O_n \perp P_i) \wedge (O_l // P_i))$

Установлено, что относительное угловое положение *оси* осесимметричного элемента конструкции (поверхности вращения) на чертеже детали или оси обрабатываемой поверхности заготовки на операционном эскизе должно быть задано необходимым и достаточным числом показателей. Так *ось может быть: перпендикулярна только к одной плоскости, или параллельна двум пересекающимся плоскостям, или параллельна к одной плоскости и составлять некоторый угол с плоскостью, которая перпендикулярна первой.*

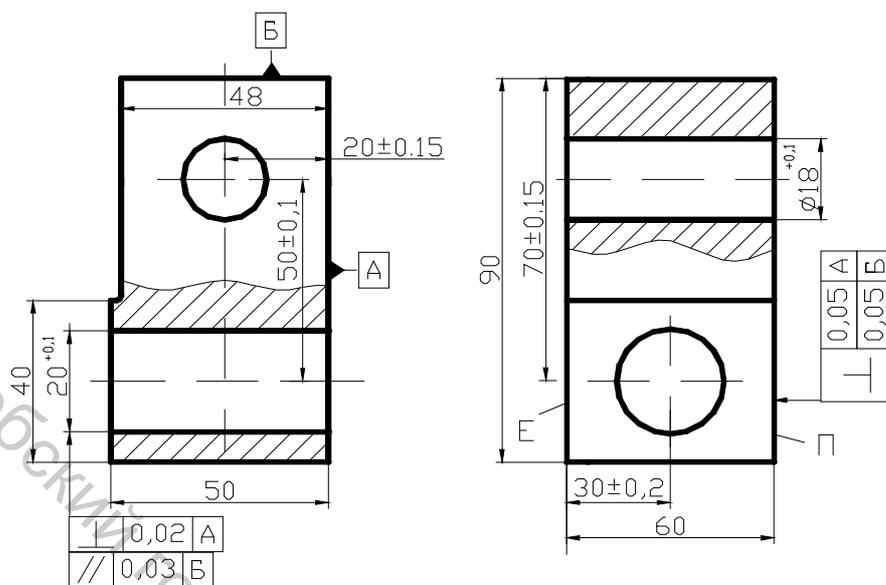


Рис. 2.2. Иллюстрация некорректного задания допуска

На рис. 2.2 приведен пример некорректного задания точности расположения оси обрабатываемого отверстия. Допуск параллельности оси к базе Б, указанный на чертеже детали избыто-

чен, так как допуск перпендикулярности относительно базы А однозначно задает относительное положение оси. Поле допуска параллельности будет дублировать поле допуска перпендикулярности (рис. 2.3).

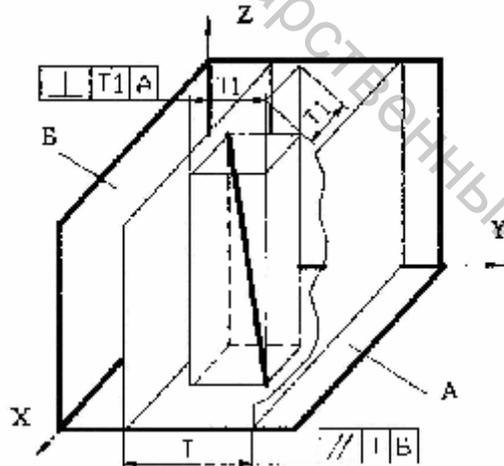


Рис. 2.3. Схема распределения полей допусков перпендикулярности и параллельности относительно баз А и Б

Относительное угловое положение плоского конструктивного элемента (плоскости) на чертеже детали или обрабатываемой плоскости заготовки на операционном эскизе также должно быть задано необходимым и достаточным числом показателей. Так плоскость может быть: перпендикулярна к двум пересекающимся плоскостям или к оси, или перпендикулярна к одной плоскости

и составлять некоторый угол с другой, которая перпендикулярна к первой.

Таким образом, можно определить варианты однозначного задания ориентации элементов конструкции относительно того или иного комплекта баз ориентации. Проведенный анализ показывает, что всего возможно 62 варианта задания ориентации обрабатываемой оси или плоскости конструктивного элемента относительно того или иного комплекта баз ориентации:

Если технологическими базами являются три плоскости (комплект баз №1 таблица 1), то расположение оси осесимметричного конструктивного элемента (обрабатываемой поверхности) может задаваться допуском либо:

- 1) перпендикулярности к одной из плоскостей комплекта баз ориентации (O10);

- 2) параллельности относительно двух плоскостей комплекта баз (O11);
- 3) параллельности относительно одной плоскости и углового расположения относительно другой плоскости комплекта баз (O12);

4) углового расположения относительно двух плоскостей комплекта баз (O13) и соответствующими двумя координатами точки на оси (линейными размерами).

*Если технологическими базами являются две плоскости и ось, перпендикулярная к одной из них (комплект баз №2 таблица 1), то расположение оси обрабатываемой поверхности может задаваться допуском либо:*

- 5) перпендикулярности к плоскости комплекта перпендикулярной оси (O20);
- 6) перпендикулярности к плоскости комплекта баз параллельной оси комплекта (O21);
- 7) параллельности относительно оси комплекта баз (O22);
- 8) перпендикулярности к оси комплекта баз и параллельности к плоскости комплекта, параллельной оси (O23);
- 9) параллельности относительно плоскостей комплекта (O24);
- 10) параллельности относительно плоскости комплекта параллельной оси и углового расположения относительно другой плоскости комплекта (O25);
- 11) углового расположения относительно двух плоскостей комплекта (O26);
- 12) параллельности относительно плоскости комплекта параллельной оси и углового расположения относительно оси комплекта (O27);
- 13) углового расположения относительно плоскости комплекта параллельной оси и углового расположения относительно оси (O28);
- 14) параллельности относительно плоскости комплекта перпендикулярной оси комплекта баз и углового расположения относительно другой плоскости комплекта (O29)

и соответствующими двумя координатами точки на оси (линейными размерами).

*Если технологическими базами являются две параллельные оси и плоскость перпендикулярная к ним (комплект баз №3 таблица 1), то расположение оси обрабатываемой поверхности может задаваться допуском либо:*

- 15) перпендикулярности к плоскости комплекта баз (O30);
- 16) параллельности относительно оси (O31);
- 17) перпендикулярности к плоскости комплекта, проходящей через оси (O32);
- 18) параллельности относительно плоскости комплекта, проходящей через оси, и параллельности к плоскости комплекта (O33);
- 19) параллельности относительно плоскости комплекта, проходящей через оси, и углового расположения оси к плоскости комплекта (O34);
- 20) углового расположения к плоскости комплекта, проходящей через оси, и углового расположения к плоскости комплекта (O35);
- 21) параллельности к плоскости комплекта, проходящей через оси, и углового расположения оси к оси комплекта баз (O36);

22) углового расположения к плоскости комплекта, проходящей через оси, и параллельности к плоскости комплекта (О37);

23) углового расположения к плоскости комплекта, проходящей через оси, и углового расположения к оси комплекта (О38).

и соответствующими двумя координатами точки на оси (линейными размерами).

*Если технологическими базами являются две пересекающиеся под прямым углом оси и плоскость перпендикулярная к одной из них (комплект баз №4 таблица 1), то расположение оси обрабатываемой поверхности может задаваться допуском либо:*

24) перпендикулярности плоскости комплекта баз (О40);

25) перпендикулярности к оси комплекта параллельной плоскости и параллельность плоскости комплекта (О41);

26) параллельности к оси комплекта баз параллельной плоскости (О42);

27) параллельности к оси комплекта перпендикулярной плоскости (О43);

28) перпендикулярности к оси комплекта параллельной плоскости и перпендикулярности к оси комплекта перпендикулярной плоскости (О44);

29) углового расположения к оси комплекта параллельной плоскости и параллельности плоскости комплекта баз (О45);

30) углового расположения к оси комплекта параллельной плоскости и углового расположения к плоскости комплекта (О46);

31) углового расположения к оси комплекта параллельной плоскости и углового расположения к оси комплекта перпендикулярной плоскости (О47).

и соответствующими двумя координатами точки на оси (линейными размерами).

*Если технологическими базами являются три плоскости (комплект баз №1 таблица 1), то расположение обрабатываемого плоского конструктивного элемента может задаваться допуском либо:*

1) перпендикулярности к двум плоскостям комплекта баз (П10);

2) параллельности к одной плоскости комплекта баз (П11);

3) перпендикулярности к одной плоскости комплекта и углового расположения относительно другой (П12);

4) углового расположения относительно двух плоскостей комплекта баз (П13)

и соответствующей координатой точки на плоскости (линейным размером).

*Если технологическими базами являются две плоскости и ось, перпендикулярная к одной из них (комплект баз №2 таблица 1), то расположение обрабатываемой плоской поверхности может задаваться допуском либо:*

5) перпендикулярности к двум плоскостям комплекта баз (П20);

6) параллельности к плоскости комплекта баз параллельной оси (П21);

7) параллельности к плоскости комплекта баз перпендикулярной оси (П22);

8) перпендикулярности рассматриваемой плоскости к оси комплекта баз (П23);

9) параллельности к оси комплекта и перпендикулярности плоскости комплекта параллельной оси (П24);

10) углового расположения относительно плоскости комплекта перпендикулярной оси и перпендикулярности плоскости к плоскости комплекта параллельной оси (П25);

11) углового расположения относительно плоскости комплекта параллельной оси и перпендикулярности плоскости к плоскости комплекта перпендикулярной оси (П26);

12) углового расположения относительно оси комплекта и перпендикулярности плоскости к плоскости комплекта параллельной оси (П27);

13) углового расположения относительно оси комплекта и углового расположения к плоскости комплекта параллельной оси (П28);

14) углового расположения относительно двух плоскостей комплекта (П29) и соответствующей координатой точки на плоскости (линейным размером).

*Если технологическими базами являются две параллельные оси и плоскость перпендикулярная к ним (комплект баз №3 таблица 1), то расположение обрабатываемой плоской поверхности может задаваться допуском либо:*

15) перпендикулярности к двум плоскостям комплекта (П30);

16) параллельности к плоскости комплекта, проходящей через оси (П31);

17) параллельности к плоскости комплекта (П32);

18) перпендикулярности оси комплекта (П33);

19) перпендикулярности к плоскости комплекта и углового расположения к плоскости комплекта, проходящей через оси (П34);

20) углового расположения к плоскости комплекта и перпендикулярности к плоскости комплекта, проходящей через оси (П35);

21) углового расположения к плоскости комплекта, углового расположения к плоскости комплекта, проходящей через оси (П36);

22) углового расположения к оси комплекта и углового расположения к плоскости комплекта, проходящей через оси (П37)

и соответствующей координатой точки на плоскости (линейным размером).

*Если технологическими базами являются две пересекающиеся под прямым углом оси и плоскость перпендикулярная к одной из них (комплект баз №4 таблица 1), то расположение обрабатываемой плоской поверхности может задаваться допуском либо:*

23) перпендикулярности к оси комплекта перпендикулярной плоскости комплекта баз (П40);

24) перпендикулярности к оси комплекта баз параллельной плоскости комплекта (П41);

25) перпендикулярности к плоскости комплекта баз и параллельности к оси комплекта параллельной плоскости комплекта (П42);

26) перпендикулярности к плоскости комплекта и углового расположения к оси комплекта, параллельной плоскости комплекта (П43);

27) углового расположения к оси комплекта, параллельной плоскости комплекта, и параллельности к оси комплекта, перпендикулярной плоскости комплекта (П44);

28) углового расположения к плоскости комплекта и параллельности к оси комплекта, параллельной плоскости комплекта (П45);

29) углового расположения к оси комплекта, перпендикулярной плоскости комплекта, и параллельности к оси комплекта, параллельной плоскости комплекта (П46);

30) углового расположения к плоскости комплекта и углового расположения к оси комплекта, параллельной плоскости комплекта (П47);

31) углового расположения к оси комплекта, перпендикулярной плоскости комплекта, и углового расположения к оси комплекта параллельной плоскости комплекта (П48).

и соответствующей координатой точки на плоскости (линейным размером).

Согласно рис. 2.2 плоскость П ориентируется относительно комплекта баз № 1 (три взаимно перпендикулярных плоскости, т.к. задан допуск перпендикулярности по отношению к двум плоскостям А и Б и линейный размер б0 до плоскости Е). Допуск перпендикулярности плоскости П согласно правилу П10 задан корректно

### 2.2.3. Вид компонента комплекта баз

Под целью разработки **теоретической схемы базирования** при механической обработке (т.е. проектного базирования) предлагается понимать обеспечение (еще на стадии проектирования) требуемых показателей взаимного расположения поверхностей *за счет наложения на поверхности баз ориентации определенного числа связей*.

Теоретическая схема базирования при механической обработке (или просто *схема базирования*) – графическое изображение геометрической модели заготовки (абсолютно твердого тела, поверхности которого (в том числе плоскости, оси и центры симметрии) идеальны) в состоянии после выполнения рассматриваемой операции, на которой выделены обработанные поверхности, проставлены обозначения размеров, допусков взаимного расположения и условные значки, интерпретирующие точки сопряжения и направляющие векторы, накладывающие определенное число связей.

**Связь** отражает отсутствие неопределенности положения обрабатываемого компонента в базовой системе координат. Считается, что связь определяет положение точки сопряжения (соприкосновения) ранее полученных элементов геометрической модели заготовки (ГМЗ) с ее плоскостями в направлении, перпендикулярном той из плоскостей базовой системы координат, в которой лежит рассматриваемая точка сопряжения. Чтобы определить направление связи и направление оси базовой (собственной) системы координат (БСК, ССК) предлагается

использовать *направляющий вектор*, перпендикулярный соответствующей плоскости базовой системы координат, и определяющий направление оси базовой системы координат.

На рис. 2.4 приведены некоторые примеры расположения точек сопряжения и направляющих векторов в БСК.

Сочетания точек сопряжения в базовой системе координат, расположенные на каждой из баз ориентации, могут накладываться на геометрическую модель заготовки разное число связей. Оно определяет *вид компонента комплекта баз*. Сочетания точек сопряжения указанный выше ГОСТ определяет как установочная, направляющая, опорная, двойная опорная, двойная направляющая базы. Приведенные названия технологических баз нельзя воспринимать буквально, ибо опорной базой заготовка ни на что не опирается, направляющей базой никуда не направляется, а на установочную – не всегда устанавливается. Поэтому предлагается вместо этих терминов использовать соответственно следующие: тройная однонаправленная, двойная однонаправленная, одиночная, двойная разнонаправленная, четверная базы, как термины, более адекватно отражающие процесс проектного базирования. Также предлагается ввести новое понятие – тройная разнонаправленная база, отсутствующее в ГОСТ.

Эти термины легко определить с помощью понятий – точка сопряжения, направляющий вектор. Так, например, под тройной однонаправленной (установочной) технологической базой понимается три точки сопряжения не лежащие на одной прямой и имеющие одинаковое направление направляющих векторов, накладывающиеся на геометрическую модель заготовки три связи: одну линейную и две угловых (рис. 2.4, а, б точки 1,2,3).

Несложно определить возможные варианты реализации технологических баз. Так, например, тройная однонаправленная (установочная) база может быть реализована:

1. плоскостью модели заготовки;
2. двумя образующими, которые принадлежат пересекающимся или параллельным цилиндрам и лежат в одной плоскости (рис. 2.5);
3. образующими цилиндра и конуса, лежащими в одной плоскости (рис. 2.6);
4. направляющей окружностью тора (рис. 2.7, а);
5. наружными точками трех сфер, лежащих в одной соприкасающейся с ними плоскости (рис. 2.7, б);;
6. двумя пересекающимися (или параллельными) осями цилиндров.

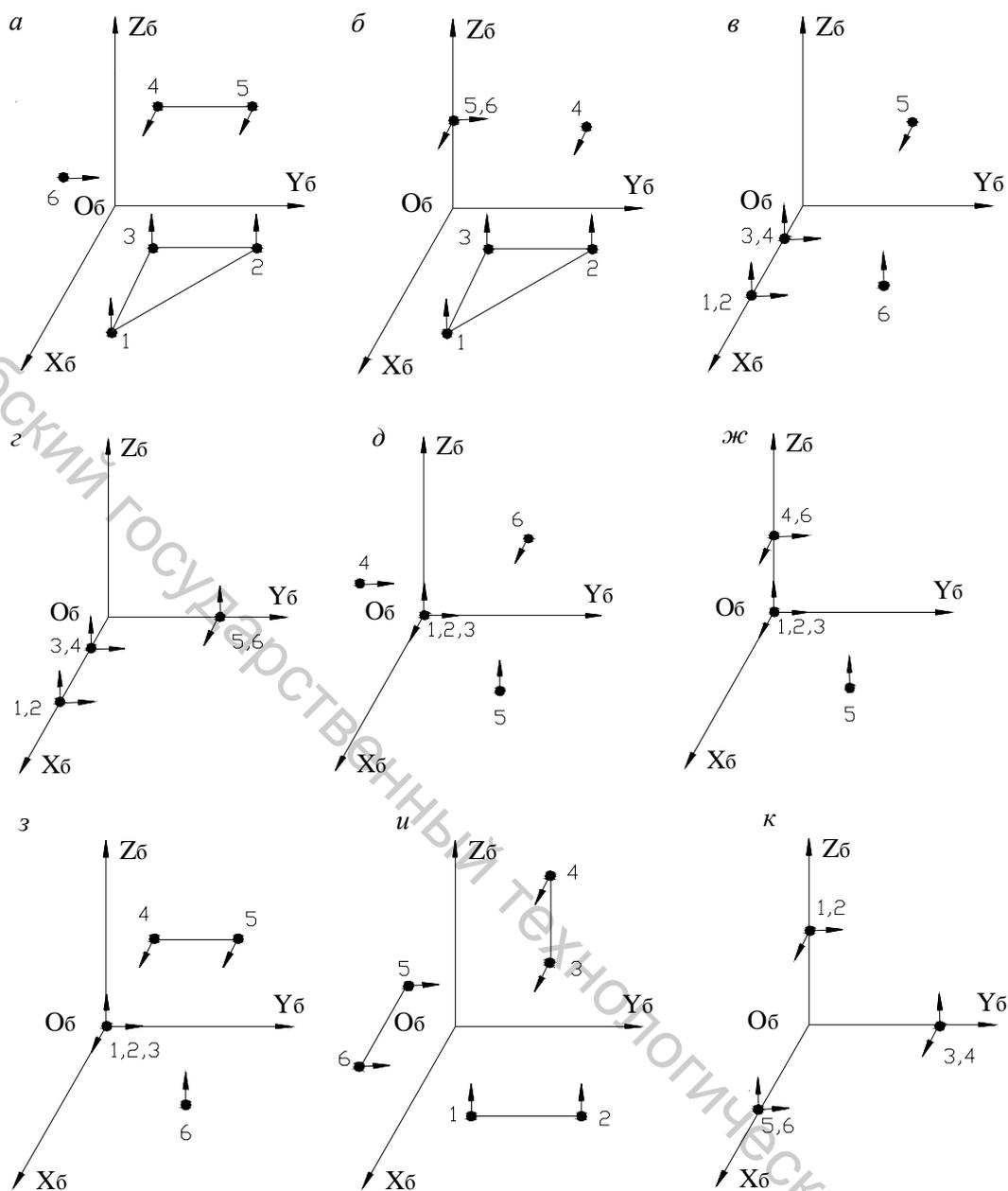


Рис. 2.4. Варианты расположения точек сопряжения и количества связей технологических баз ( $O_6 X_6 Y_6 Z_6$  – базовая система координат; 1-6 – точки сопряжения; стрелками показаны направляющие векторы):

а) тройная однонаправленная (установочная) (1,2,3), двойная однонаправленная (направляющая) (4,5) и одиночная (опорная) (6) базы; б) тройная однонаправленная (установочная) (1,2,3), двойная разнонаправленная (двойная опорная) (5,5) и одиночная (опорная) (6) базы; в) четверная (двойная направляющая) (1,2,3,4) и две одиночные (опорные) ((5) и (6)) базы; г) четверная (двойная направляющая) (1,2,3,4) и двойная разнонаправленная (двойная опорная) (5,6) базы; д) тройная разнонаправленная (тройная опорная) (1,2,3) и три одиночных ( опорные) (4),(5),(6) базы; ж) тройная разнонаправленная (тройная опорная) (1,2,3), двойная разнонаправленная (двойная опорная) (4,6) и одиночная опорная (5) базы; з) тройная разнонаправленная (тройная опорная) (1,2,3), двойная однонаправленная (направляющая) (4,5) и одиночная (опорная) (6) базы; и) три двойных однонаправленных (направляющих) (1,2), (3,4) и (5,6) базы; к) три двойных разнонаправленных (двойных опорных) (1,2), (3,4) и (5,6) базы.

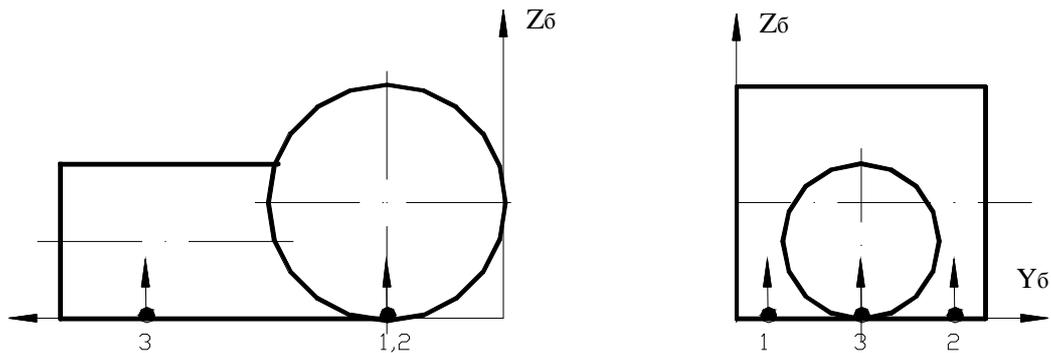


Рис. 2.5. Схема реализации установочной базы с помощью двух образующих, принадлежащих пересекающимся цилиндрам и лежащих в одной плоскости

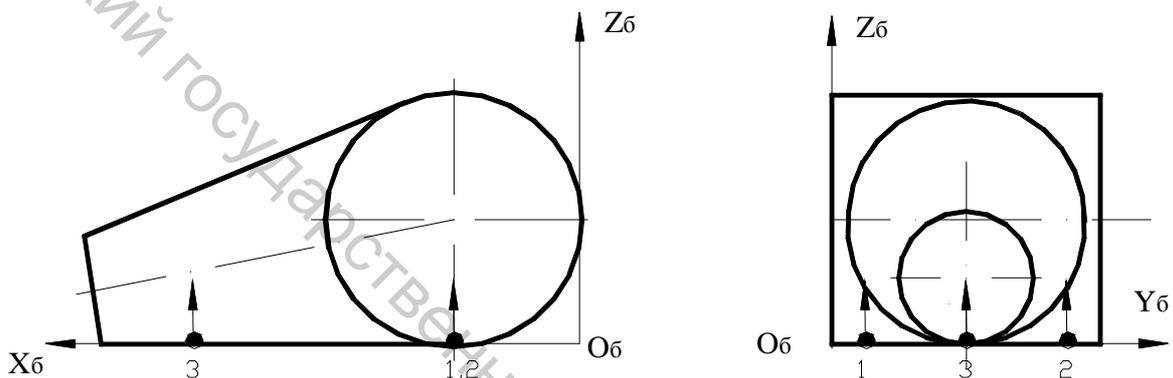


Рис. 2.6. Схема реализации установочной базы с помощью образующих цилиндра и конуса, лежащими в одной плоскости

**Двойная однонаправленная (направляющая) технологическая база** формируется двумя не слившимися точками сопряжения, имеющими одинаковое направление направляющих векторов (рис. 2.4, а, з точки 4,5; и – точки 1,2; 3,4; 5,6). Двойная однонаправленная база накладывает на модель заготовки две связи, которые обеспечивают определенность расстояния обрабатываемого элемента ГМЗ вдоль одной из осей базовой системы координат и определенность углового положения (поворота) вокруг одной из двух других осей.

Двойную однонаправленную базу можно реализовать:

1. плоскостью модели заготовки;
2. осью цилиндра;
3. образующей цилиндра;
4. точками, которые лежат на общей касательной к двум наружным цилиндрам;
- 5) линией пересечения двух плоскостей.

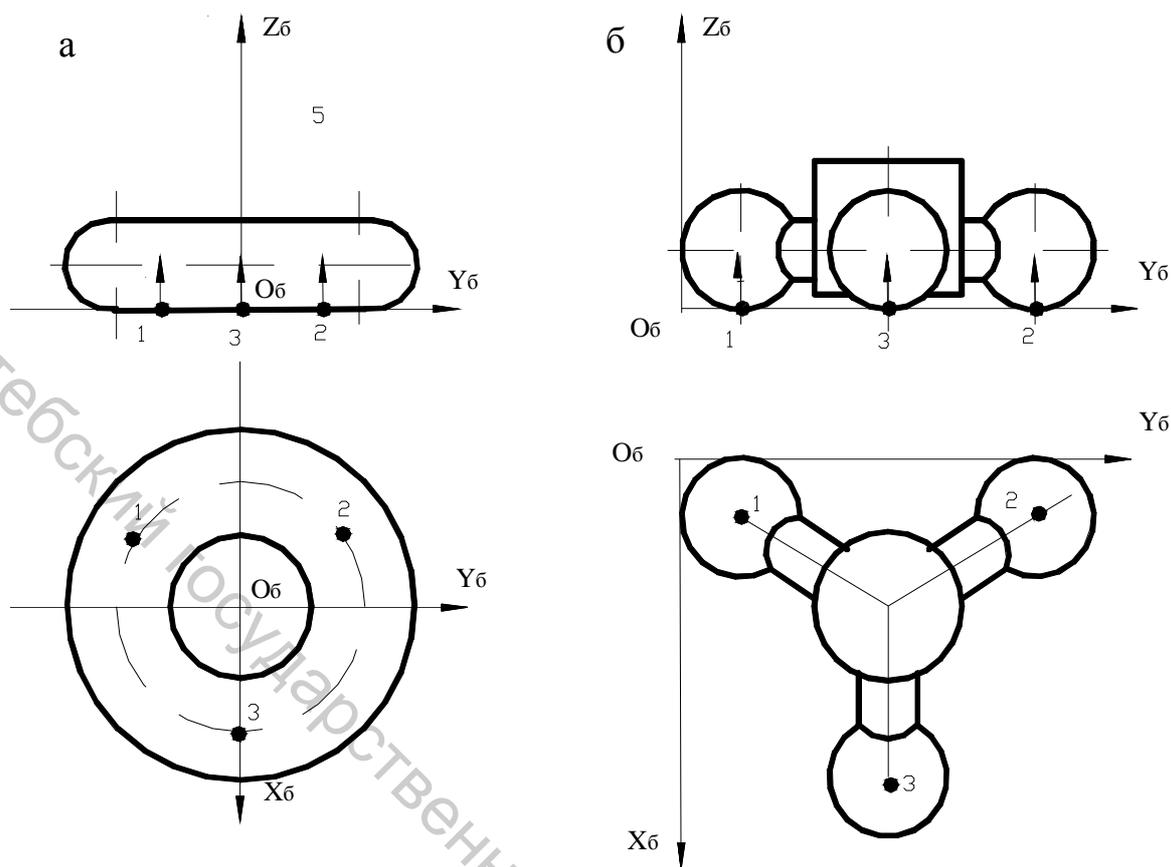


Рис. 2.7. Схема реализации установочной базы с помощью: (а) направляющей тора, (б) наружными точками трех сфер, лежащими в одной плоскости

**Одиночная (опорная) технологическая база** формируется одной точкой соприкосновения. Накладывает одну связь – определенность положения обрабатываемого элемента заготовки вдоль направляющего вектора (рис. 2.4).

Одиночная база может быть реализована точкой, лежащей на:

1. оси цилиндра, конуса или тора;
2. плоскости геометрической модели заготовки;
3. образующей цилиндра;
4. линии пересечения плоскостей и т. д.

С помощью оси цилиндрической или конической поверхности заготовки может быть реализована **двойная разнонаправленная (двойная опорная) технологическая база**, если в одной точке этой оси лежат две слившиеся точки соприкосновения, а соответствующие направляющие векторы взаимно перпендикулярны. Эта база накладывает две связи: определенность расстояния обрабатываемого элемента вдоль осей базовой системы координат, параллельных направляющим векторам (рис. 2.4 б,г – точки 5,6; ж – точки 4,6; к – точки 1,2; 3,4; 5,6).

С помощью центра сферической поверхности или точки на оси конической поверхности можно реализовать **тройную разнонаправленную (тройную опор-**

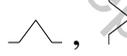
ную) *технологическую базу*, если в центре сферы или в одной из точек оси конуса расположены три слившиеся точки сопряжения, а соответствующие направляющие векторы взаимно перпендикулярны (рис. 2.4 д, ж, з – точки 1, 2, 3). Обычно в эту базу помещают начало базовой системы координат. Тройная разнонаправленная (тройная опорная) база накладывает три связи: определенность положения обрабатываемого элемента заготовки вдоль осей БСК.

С помощью достаточно длинной оси цилиндрической поверхности заготовки можно реализовать *четверную (двойную направляющую) технологическую базу*, если на этой оси расположены четыре попарно слившиеся точки сопряжения, а направляющие векторы, выходящие из каждой пары слившихся точек сопряжения, взаимно перпендикулярны. Можно представить двойную направляющую базу как сочетание двух лежащих на одной оси и перпендикулярных двойных однонаправленных (направляющих) баз или двух лежащих на одной оси двойных разнонаправленных (двойных опорных) баз. Четверная (двойная направляющая) база накладывает четыре связи: определенность расстояния обрабатываемого элемента заготовки вдоль двух осей базовой системы координат (две связи), перпендикулярных оси, которая реализует данную базу, и определенность углового положения (поворота) вокруг этих же осей (еще две связи) (рис. 2.4 в, г, точки 1-4).

В зависимости от видов компонентов всего возможны девять вариантов комплектов технологических баз (рис. 2.4).

#### 2.2.4. Схемы базирования и установки. Оценка допустимости схемы установки.

На рис. 2.8 показана *схема базирования*, на которой предлагается изображать:

1. графическую модель заготовки, отражающую ее состояние после выполнения рассматриваемой операции;
2. условные обозначения направляющих векторов значками ,  на виде сбоку;  – в плане )
3. оси собственной системы координат .

Состояние заготовки отражается совокупностью размеров и углов, характеризующих положение обработанного конструктивного элемента (в данном случае плоскости, выделенной жирной линией) относительно технологических баз (собственной системы координат). Это расстояние от оси Zб, равное  $30 \pm 0,2$  мм, допуск перпендикулярности относительно плоскости Xб Об Yб и угол  $45^\circ \pm 20'$  от-

носителем плоскости Xб Об Zб. Острие значка следует направлять в соответствии с направлением направляющего вектора.

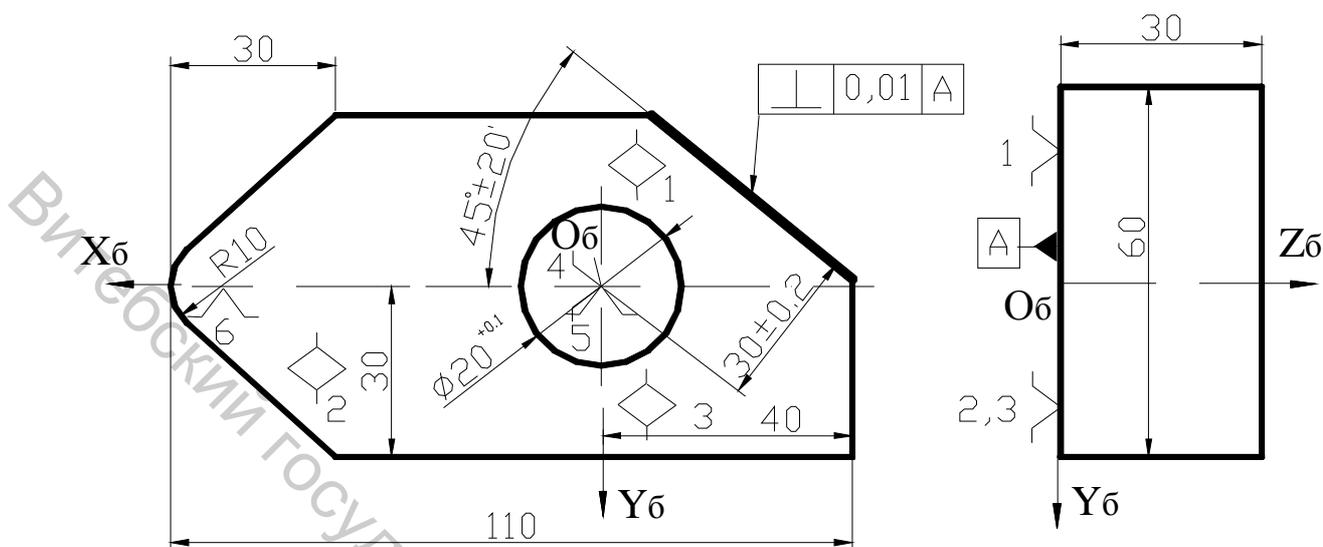


Рис. 2.8. Схема базирования

Схема базирования должна быть спроектирована таким образом, чтобы базовая система координат лежала на компонентах ГМЗ, от которых заданы размеры и показатели угловой ориентации обрабатываемых элементов заготовки. Если это требование невозможно выполнить, то появляются условия для возникновения погрешности схемы базирования. Условия для возникновения погрешности схемы базирования имеют место, когда из-за некорректной простановки размеров или по другим причинам невозможно создать ССК на компонентах ГМЗ, от которых заданы размеры и показатели угловой ориентации обрабатываемых элементов заготовки.

Пример указанной ситуации приведен на рис. 2.9. Положение оси обрабатываемого отверстия определяется углом  $b$ , который откладывается от плоскости Б, перпендикулярной установочной базе (плоскость С), и расстоянием  $A_n$ , которое откладывается от наружного диаметра ГМО. Плоскость Б будет направляющей базой. Провести третью плоскость СКО через точку М нельзя, так как в этом случае не получится декартовой системы координат. Кроме того, ее положение не является постоянным, а зависит от диаметра  $D$ , который изменяется в пределах допуска. Поэтому эту плоскость ССК (Е) следует провести через точку О. В таком случае размер  $A_n$  зависит от фактического значения радиуса детали и колеблется в пределах допуска. Тогда погрешность схемы базирования

$$\Delta_{сб}(A_n) = TD/2.$$

Если задать размер  $A_{n1}$  вместо  $A_n$ , то условий для появления погрешности схемы базирования не будет.

Под **настроечной** базой будем понимать обрабатываемую поверхность, по отношению к которой заданы размеры и (или) относительные повороты другой обрабатываемой поверхности при той же схеме базирования. Первая обрабатываемая поверхность ориентирована относительно технологических баз.

Так, например, при обработке подшипникового гнезда (рис. 2.10) при обработке поверхности М настроечной базой является поверхность К. При обработке поверхности Р на станке с ЧПУ, оснащённом поворотным столом (рис. 2.11), настроечной базой является поверхность Е, а при обработке отверстия G настроечной базой является поверхность Н (цепной метод простановки размеров на чертеже).

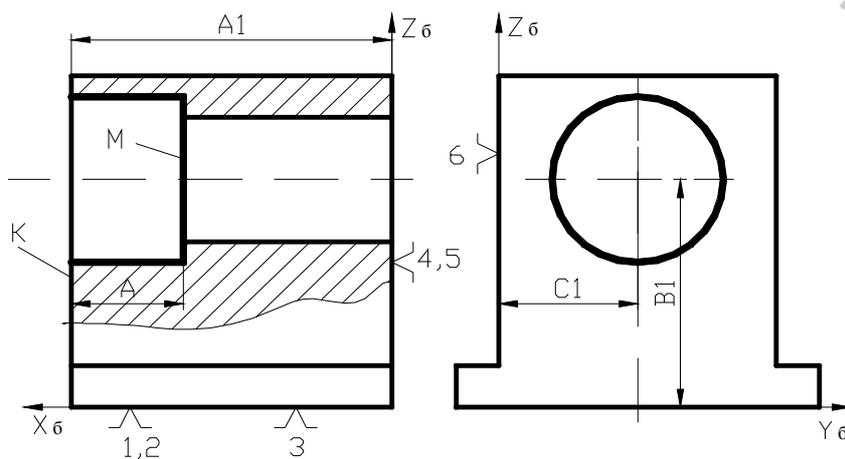


Рис. 2.10. Настроечная база при растачивании отверстия

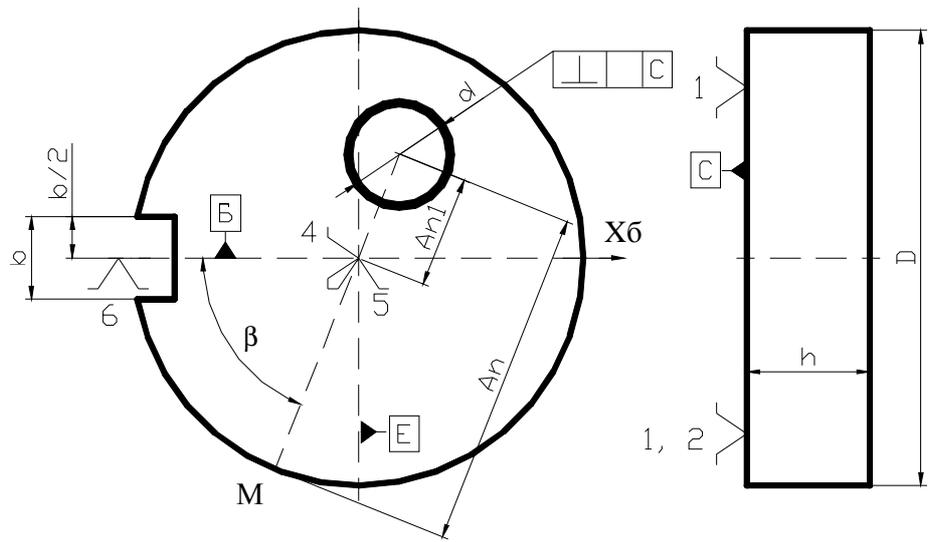


Рис. 2.9. Иллюстрация условий для проявления погрешности схемы базирования по размеру

Если от комплекта технологических баз ориентируются две поверхности и расстояния (относительные повороты) до них заданы цепным методом, то поверхность, связанная с технологической базой и будет являться настроечной базой. Если цепным методом задано несколько поверхностей, то каждая предыдущая поверхность в цепи будет для последующей настроечной базой.

На рис. 2.12. показана **схема установки**, соответствующая схеме базирования, показанной на рис. 2.8. На схеме установки предлагается изображать:

1. графическую модель заготовки, отражающую ее состояние после выполнения рассматриваемой операции;
2. условные обозначения установочно-зажимных элементов приспособления;
3. условные обозначения точки приложения и направления силы закрепления;
4. опорную систему координат.

Условными знаками обозначены три плоские опоры, с которыми соприкасается установочная база  $\triangle^3$ , цилиндрический палец  $\circ$ , и подвижная призма  $\triangle$  согласно ГОСТ 3.1107-81 «Опоры, зажимы, и установочные устройства. Графические обозначения». Сила закрепления, примененная вблизи обрабатываемой плоскости, направлена на плоские опоры.

На этапе проектирования теоретической схемы установки нужно обеспечить контакт технологических баз с моделями установочных компонентов (сформировать опорные точки) тем самым определить положение установочной системы координат (УСК) (рис. 2.13). Однако это возможно далеко не всегда, особенно если технологические базы являются скрытыми. Тогда возникают условия для появления *погрешности теоретической схемы установки*. Погрешностью теоретической схемы установки будем называть поле рассеяния отклонений положения установочной системы координат от базовой системы координат при разработке схемы установки.

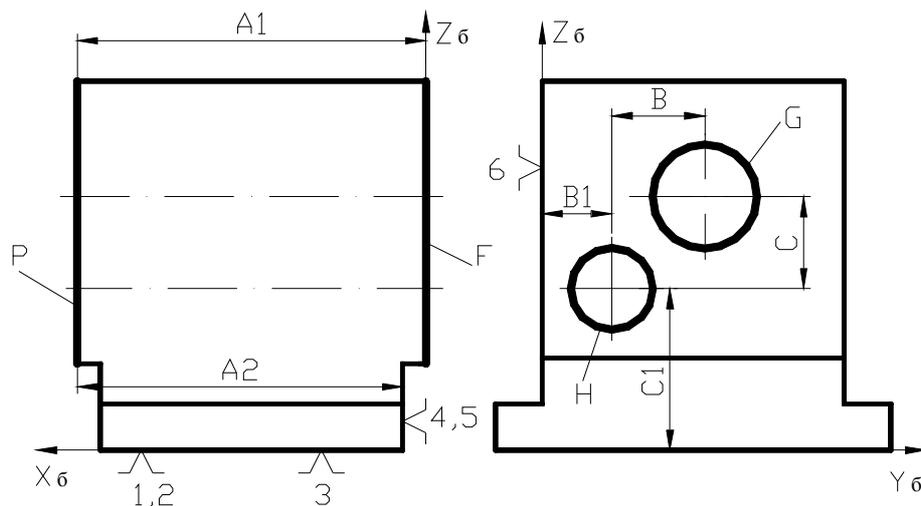


Рис. 2.11. Настроечные базы при обработке заготовки на станке с ЧПУ, оснащённом поворотным столом

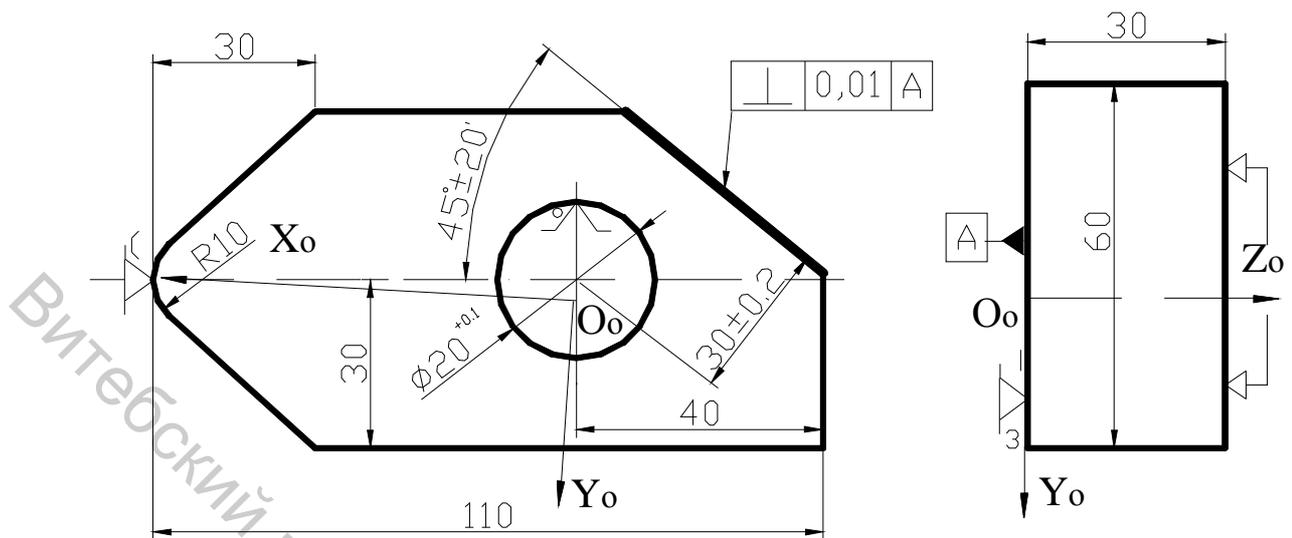


Рис. 2.12. Схема установки

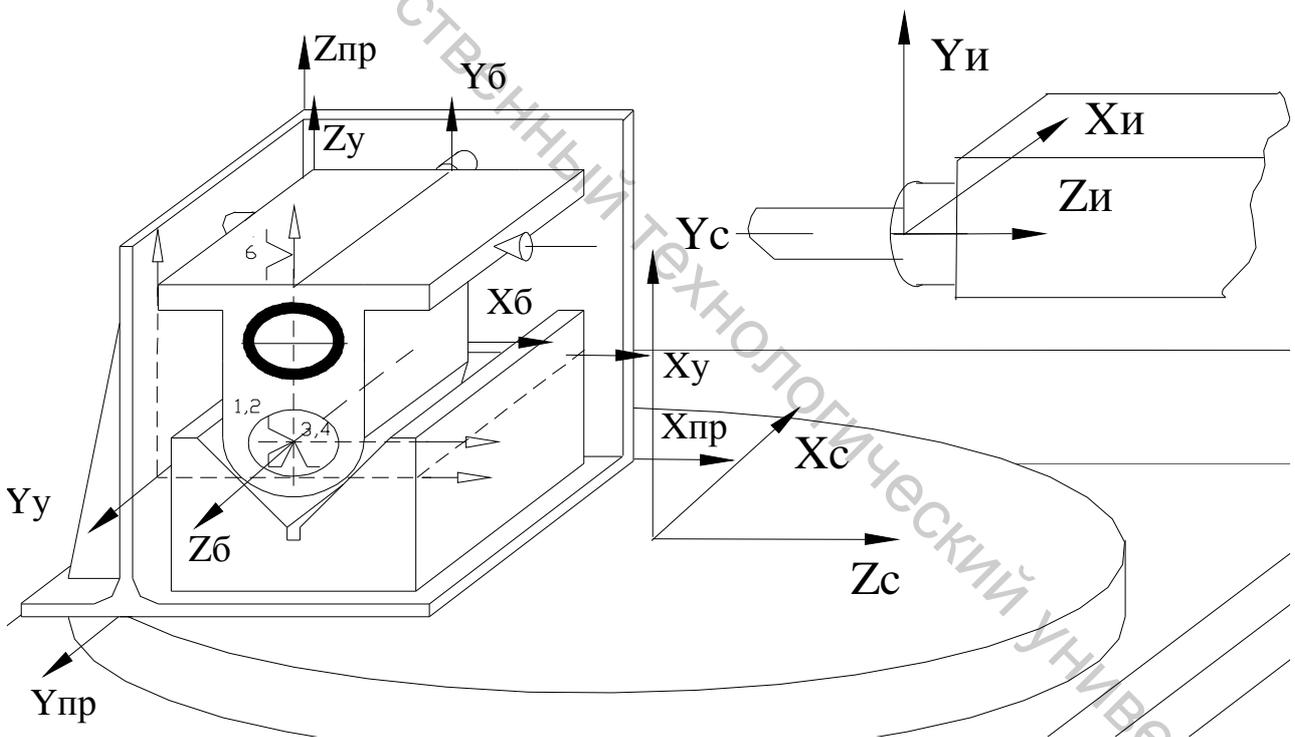


Рис. 2.13. Взаимное расположение систем координат;

где индексы: б- базовая система координат (система координат объекта производства); у-установочная (опорная) система координат; пр- система координат приспособления; с- станок; и- инструмент.

Таким образом, при проектировании схемы установки желательно совместить опорную систему координат с базовой (собственной), чтобы не создавать условия для возникновения **погрешности схемы установки** – меры несовпадения опорной и базовой систем координат.

Так как установка заготовки на палец (2.12) осуществляется с гарантированным зазором, то начало собственной и опорной систем координат не будут совпадать. А так как размерная настройка осуществляется относительно опорной системы координат, то возникают условия для возникновения *погрешности схемы установки* в данном случае для размеров  $30 \pm 0,2$  и  $45^\circ \pm 20'$ .

*Под погрешностью схемы установки предлагается понимать поле рассеяния значений назначенного размера и (или) угла вызванное максимальными смещениями положения элементов комплекта технологических баз. Причиной погрешности схемы установки является погрешность обработки заготовки на предыдущих операциях.* В рассматриваемом случае погрешность диаметра отверстия под палец.

Погрешность схемы установки проявляется как случайная величина. Принято считать, что погрешность схемы установки также симметричная случайная величина, которая подчиняется нормальному закону распределения с математическим ожиданием, равным нулю.

При этом следует учитывать следующие допущения относительно модели заготовки:

1. поверхности заготовки не имеют погрешностей формы и расположения;
2. заготовка не деформируется под действием силы закрепления.

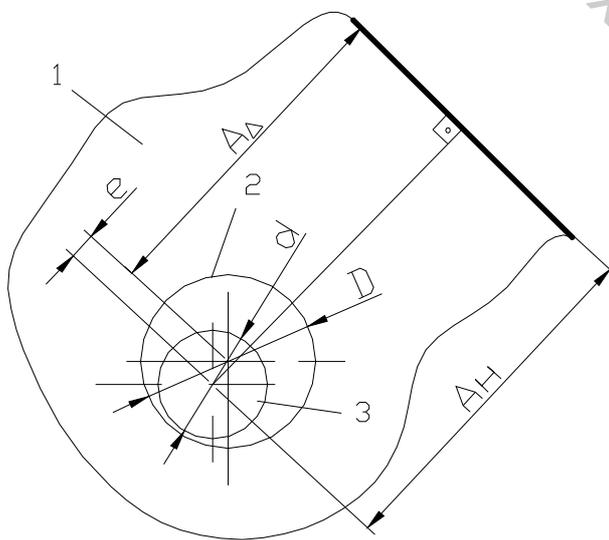


Рис. 2.14. Расчетная схема по размеру 30; 1- заготовка; 2- отверстие; 3- палец.

Погрешность схемы установки не должна превышать части (0,4...0,6) соответствующего допуска.

Для анализа пригодности принятой схемы установки нужно оценить значение ее погрешности. В рассматриваемом примере, как это было указано выше, возникают условия для возникновения погрешности схемы установки по размерам  $30 \pm 0,2$  и  $45^\circ$ .

Расчетная схема для определения погрешности

схемы установки по размеру 30 –  $\Delta_{cy}(30)$  показана на рис. 2.14. Согласно размерной цепи, показанной на нем,  $A_{\Delta} = A_H \pm e$ , где  $A_{\Delta}$  – фактический размер,  $A_H$  –



и станочной оснастки для нетиповых деталей в машиностроении в отличие принятых подходов предложено четко разграничить понятия реального и проектного базирования, теоретической схемы базирования и схемы установки при конструировании, механической обработке, сборке и контроле;

2. уточнен понятийный аппарат теории базирования при механической обработке (понятия проектная и реальная базы; конструкторская и технологическая база; комплект баз; базирование; теоретическая схема базирования; связь; направляющий вектор; вид компонента комплекта баз; установочная, направляющая, опорная, двойная опорная, тройная опорная, двойная направляющая базы; настроечная база; схема установки; погрешность схемы базирования и схемы установки), что позволило превратить теорию базирования в формализованный точный раздел технологии машиностроения, позволяющий создать САПР ТП синтеза технологических процессов механической обработки и станочной оснастки для оригинальных нетиповых деталей (класса корпус, кронштейн и т.д.);

3. проектирование станочного приспособления предлагается производить согласно последовательности ряда процедур, важнейшими из которых (с точки зрения обеспечения на стадии проектирования заданных чертежом требований к точности взаимного расположения элементов конструкции оригинальных нетиповых деталей (типа корпус, кронштейн и т.д.)) являются: *синтез схемы базирования (идентификация технологического комплект баз ориентации конструктивных элементов; определение вида компонента комплекта баз); синтез схемы установки; анализ допустимости выбранной схемы установки.* Таким образом, четко определяются цели проектного базирования при механической обработке и закладываются основы алгоритма разработки задания на проектирование приспособления;

4. предложено под целью разработки теоретической схемы базирования при механической обработке (т.е. проектного базирования) понимать обеспечение (еще на стадии проектирования) требуемых показателей взаимного расположения поверхностей за счет наложения на поверхности баз ориентации определенного числа связей (или определения вида компонента комплекта проектных технологических баз ориентации); установлено, что всего возможно четыре варианта *комплектов баз ориентации* конструктивных элементов и 62 варианта непротиворечивого и однозначного задания ориентации обрабатываемой оси или плоскости конструктивного элемента относительно того или иного комплекта баз ориентации, что позволяет решить проблему проверки корректности задания допусков взаимного расположения на чертежах деталей и операционных эскизах, а также создает основу формализованного метода идентификации комплекта баз ориентации и определения вида компонентов комплекта баз (главы 4, 5);

5. на основании использования понятий базовая и установочная системы координат предложено определение понятия погрешности теоретической схемы установки, как меры их несовпадения, что позволяет еще на стадии проектирования приспособления оценить допустимость принятого варианта схемы установки.

Витебский государственный технологический университет

## ГЛАВА 3

### КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ В СТАНКОСТРОЕНИИ

#### 3.1. Представление конструкторской информации в задаче синтеза схем базирования и порядка обработки заготовок

##### 3.1.1. Элементы конструкции корпусных деталей в станкостроении

Вопросы ориентирования заготовки и конструктивных элементов при механической обработке приобретают особое значение в отношении *оригинальных нетиповых деталей* (типа корпус, кронштейн и т.д.). Как правило, для таких деталей задание допусков взаимного расположения элементов конструкции является характерным и частым. А в том случае, если заданная точность взаимного расположения для деталей данного класса не обеспечена, то деталь неизбежно перейдет в неустранимый брак.

Для решения задачи преобразования конструкторской информации в *форму удобную для формального принятия технологических решений* в процедурах синтеза маршрута обработки, схем базирования и схем установки, а также для связи элемента классификации с основами проектирования технологии, предлагается рассматривать деталь как совокупность взаимосвязанных конструктивных элементов (функциональных модулей) разных уровней сложности и различного назначения. *Функциональный модуль (ФМ) – это группа элементарных поверхностей, вместе выполняющих хотя бы одну функцию.* Во многих случаях одна из поверхностей функционального модуля выполняет его служебное назначение, а остальные обеспечивают это выполнение. *Для выполнения служебного назначения детали функциональные модули связываются друг с другом системой размеров (линейных и угловых) и допусков. Таким образом, конфигурация детали, для формализации решения задачи синтеза маршрута обработки, схем базирования и установки может быть представлена в виде набора ФМ и структуры размерных и угловых связей между ними.*

В отличие от принятых методов, ФМ корпусных деталей предлагается классифицировать по *служебному назначению и уровню сложности*. Классификатор ФМ корпусных деталей *по сложности* построен иерархически. Элементы последующей степени сложности образуются из элементов предыдущей (рис. 2.1). За основу классификации компонентов внутри ранга принята классификация поверхностей, предложенная В.Д. Цветковым [19,20] в которой между поверхно-

стями нет разграничений по функциональному признаку. Так, например, открытая внутренняя коническая поверхность относится к одному классу, хотя может выполнять роль основной или вспомогательной сборочной базы и роль облегчения сборки (фаска) и в связи с этим совершенно различные маршруты обработки. Поэтому ФМ нулевого и второго степеней сложности делятся на технологические Т и исполнительские И (рис. 3.2). Технологические ФМ нулевого ранга обеспечивают в изделии: снижение концентрации напряжений, либо облегчают сборку и (или) вход метчика (плашки).

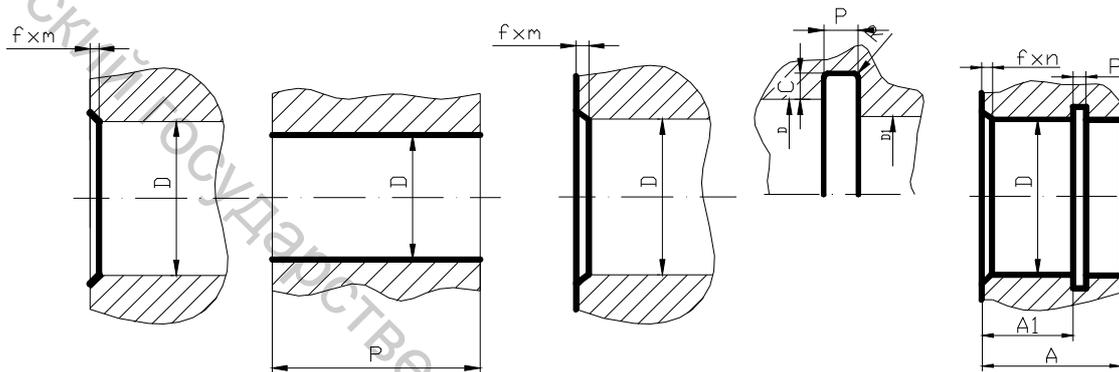


Рис.3.1. Примеры ФМ от нулевого до третьего рангов сложности различных классов

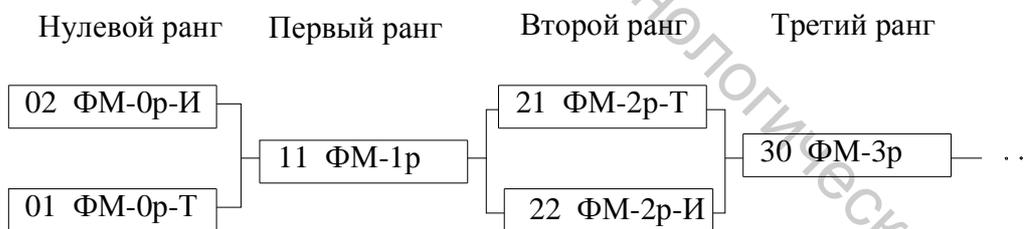


Рис. 3.2. Структура классификатора ФМ по степени сложности

На рис. 3.3- 3.4 представлены элементы классификатора функциональных модулей нулевого и первого ранга, а также эскизы некоторых компонентов. ФМ нулевого ранга представляют собой элементарные поверхности, из которых строятся ФМ остальных уровней классификации. На этом уровне исполнительные ФМ не обладают функцией. Из ФМ нулевого ранга сложности получаются элементы первого ранга, из элементов первого ранга — элементы второго и т.д. Корпусная деталь, таким образом, может являться конструктивным элементом (функциональным модулем) шестого и более высоких рангов сложности.

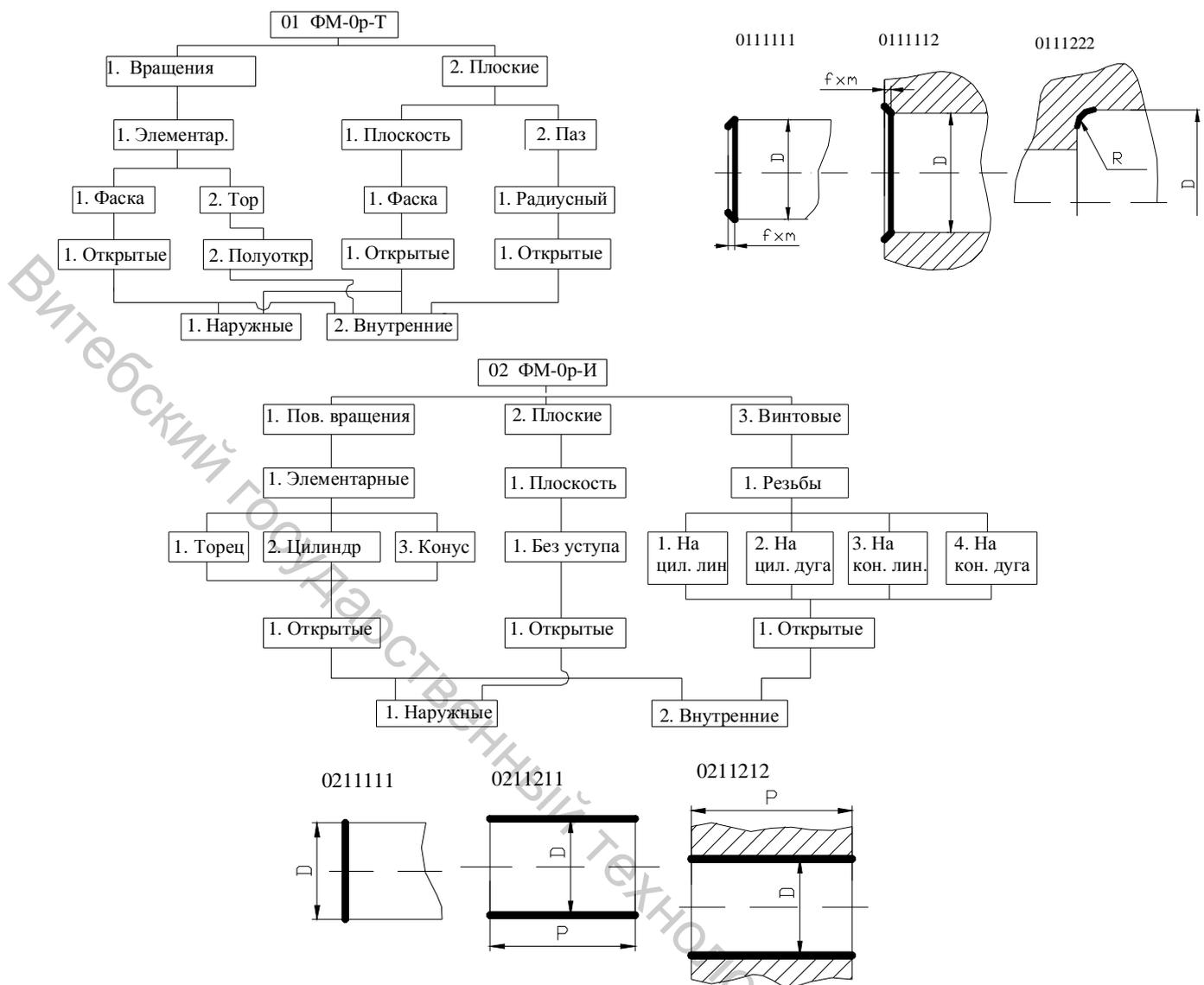


Рис. 3.3. Элементы классификатора ФМ нулевого ранга исполнительных и технологических

В процессе создания функциональных модулей осуществляются размерные связи между локальными системами координат ФМ того или иного ранга. Локальная система координат модуля – правая. Где ось Z направлена по оси цилиндрического или конического компонента, а для плоских ФМ в направлении перпендикуляра к ней. С целью формализации простановки размерных связей внутри модуля (всей детали в целом) следует определить глобальную систему координат, относительно которой ориентируются локальные системы координат присоединяемых ФМ. Глобальной является система координат исполнительного модуля нулевого ранга, выполняющего служебное назначение всего модуля (для детали обычно система координат ФМ образующего основную сборочную базу детали). Глобальная система координат – декартова правая.

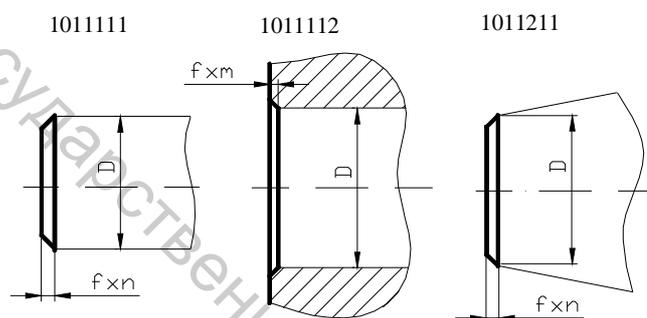
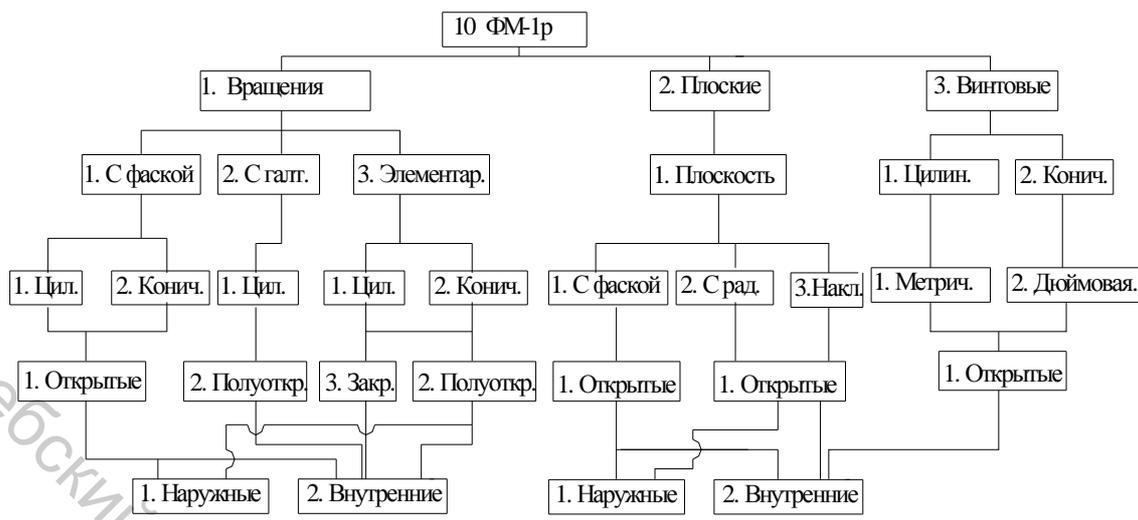


Рис. 3.4. Элементы классификатора ФМ первого ранга

Если определено служебное назначение модуля, то можно определить исполнительный ФМ нулевого ранга, система координат которого глобальна для модуля. Размерные параметры этой поверхности выбираются путем расчета или на основе других конструктивных соображений и определяют размерные параметры присоединяемых ФМ. Такая поверхность называется главной поверхностью модуля.

При построении ФМ из уже созданных модулей за глобальную систему координат принимается система координат того ФМ, который обеспечит выполнение служебного назначения создаваемого ФМ, а глобальные системы координат остальных ФМ становятся локальными.

Для синтеза информационной модели корпусной детали предлагается применять систему классификации ФМ по *служебному назначению*. Для создания принципов классификации и классификатора ФМ корпусных деталей по служебному назначению проведен анализ чертежей и операционных эскизов корпусных деталей станкостроительных заводов Витебской области (ОАО «ВИЗАС», «ВИСТАН», РУПП «Красный борец»). Предлагается ФМ корпусных деталей в станкостроении представлять в виде следующих классов:

1. основные и вспомогательные сборочные базы;
2. ФМ крепления;

3. ФМ коммуникации;

4. ФМ, объединяющие компоненты детали в единое целое;

Элементы классификатора форм комплексных ФМ по служебному назначению (рис. 3.5) формируются из элементов классификатора ФМ по сложности. Под комплексным ФМ предлагается понимать модуль пятого-шестого ранга сложности, имеющий наивысшие показатели качества, все поверхности которого возможно обработать с одного станова. ФМ менее сложной формы формируются методом адресации. Из комплексного ФМ можно легко получить частные ФМ (рис. 3.6). Классификатор ФМ является «открытым» и в него легко можно вносить изменения.

Корпусная деталь, представленная на рис. 3.7 состоит из четырех функциональных модулей, образующих основную и вспомогательные сборочные базы (два модуля – ОВБ1, один ОВБ3 (рис. 3.8), один ОВБ6), одного крепежного модуля и ряда объединительных модулей (рис. 3.9).

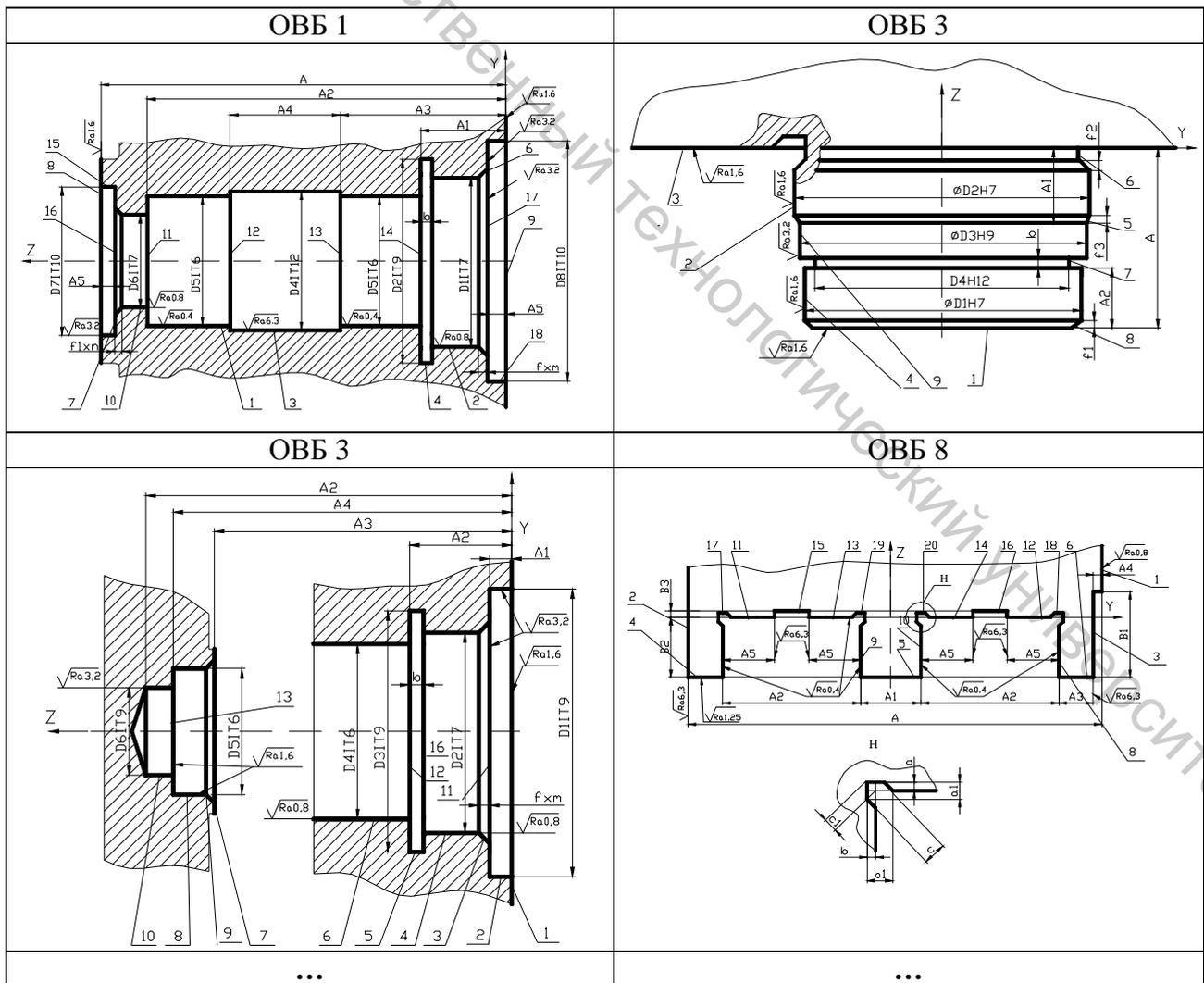


Рис. 3.5. Элементы классификатора форм комплексных ФМ образующих основные и вспомогательные сборочные базы

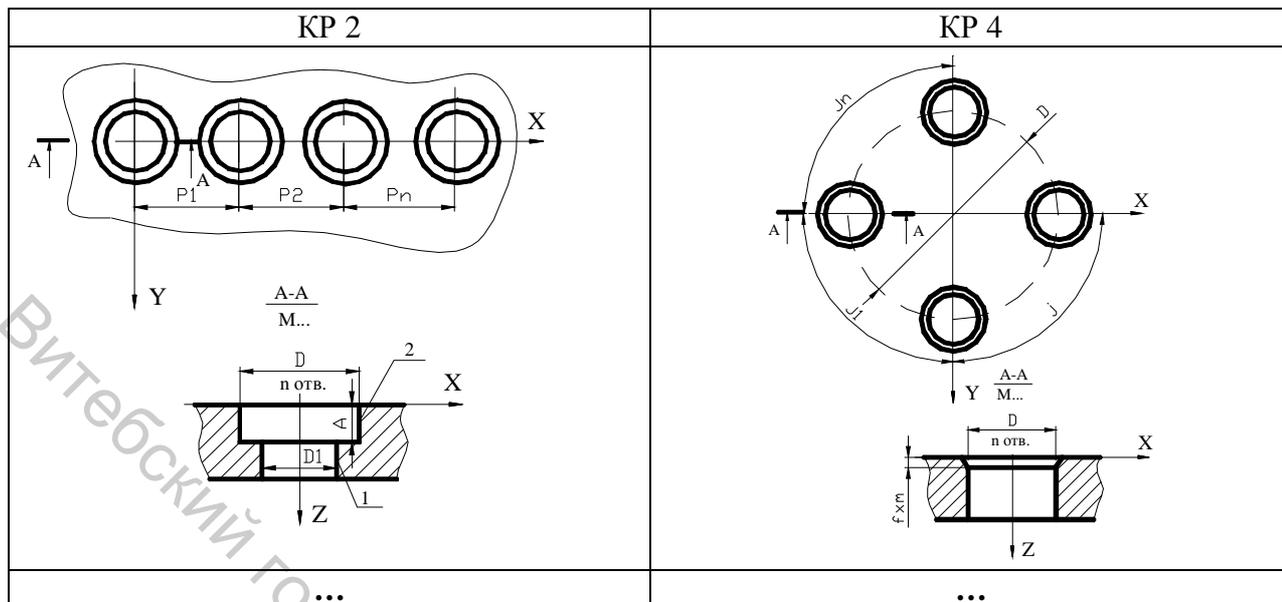


Рис. 3.5. Элементы классификатора форм крепежных ФМ

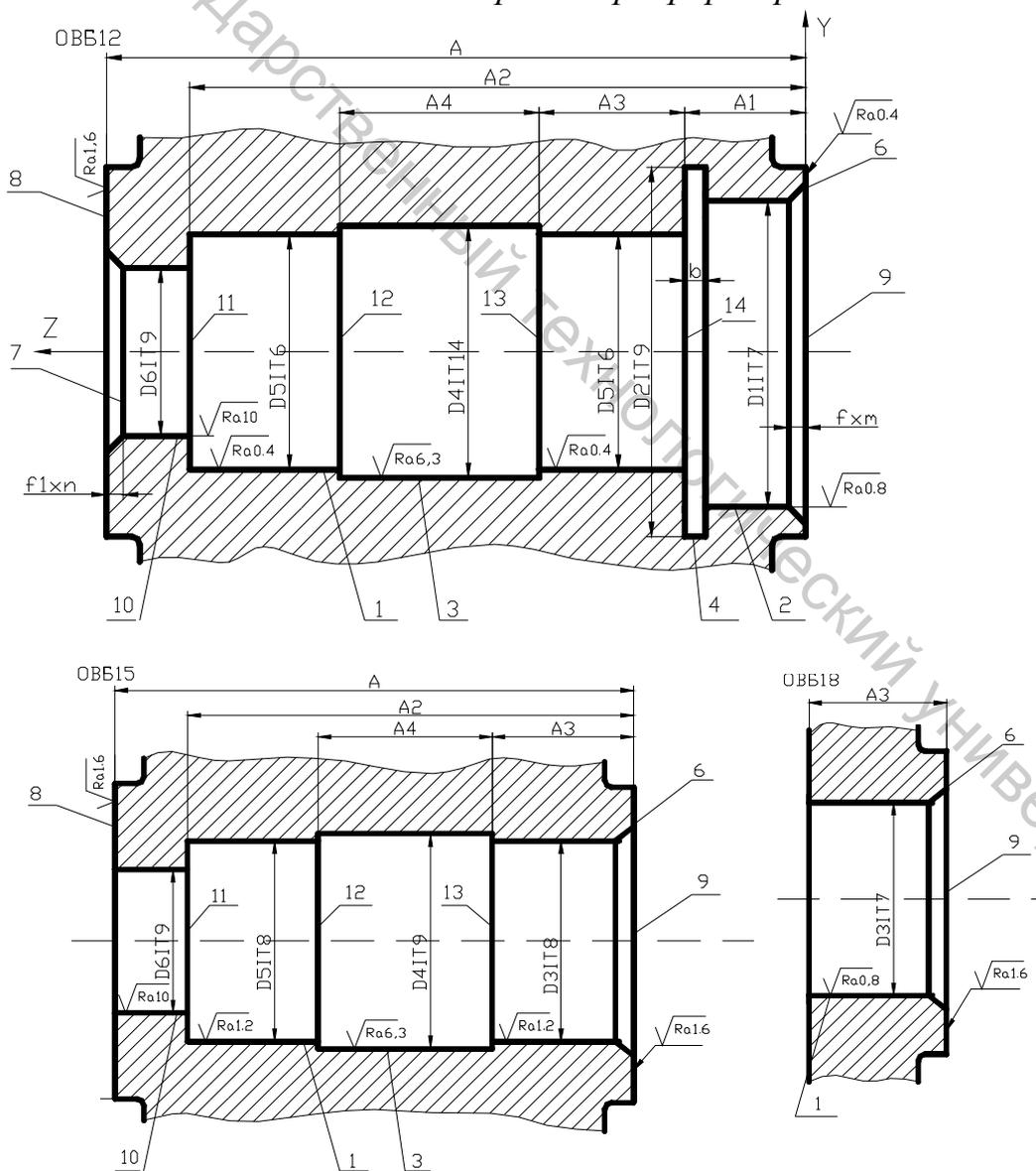


Рис. 3.6. Некоторые частные случаи комплексного ФМ OBB 1





связей главных поверхностей ФМ в трех координатных направлениях и графов угловых расположений обрабатываемых главных поверхностей ФМ по отношению к обрабатываемым поверхностям и угловых расположений обрабатываемых поверхностей по отношению к необрабатываемым.

Таблица 3.1

Формат базы данных о внутренних параметрах функционального модуля

№	Параметры	№ пов.		
		1	...	n
1	Плоскость			
2	Ось цилиндрической или конической поверхности			
3	Функциональная поверхность			
4	Технологическая поверхность			
5	Длина и ширина (диаметр)			
6	Диаметр и длина			
7	Квалитет точности			
8	Шероховатость Ra			
9	Доступность для обработки в координатном направлении главной поверхности ФМ			
10	Заданные допуски относительного расположения (перпендикулярность, угол, соосность, симметричность)			
11	Ориентация поверхности относительно системы координат ФМ (координаты единичного вектора плоскости, оси)			

Таблица 2.2.

Массив параметров ФМ ОБ12

№	№ поверхности								
	1	2	3	4	6	7	8	9	10
1							x	x	
2	x	x	x	x	x	x			x
3	x	x	x				x	x	x
4				x	x	x			
5							bxl	bxl	
6	D5xA5-A1	D1xA1	D4xA4	D2xb	D1xf	D6xf1			D6xA-A2
7	6	7	12	9	14	14	7	7	9
8	0.4	0.8	6.3	3.2	3.2	3.2	1.6	1.6	10
9	+z	+z	+z	+z	+z	-z	-z±xy	+z±xy	±z
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	001	001	001	001	001	001	001	001	001

*Примечание:* в таблице под номером поверхности отмечается присутствие или отсутствие параметра и (или) его численное значение

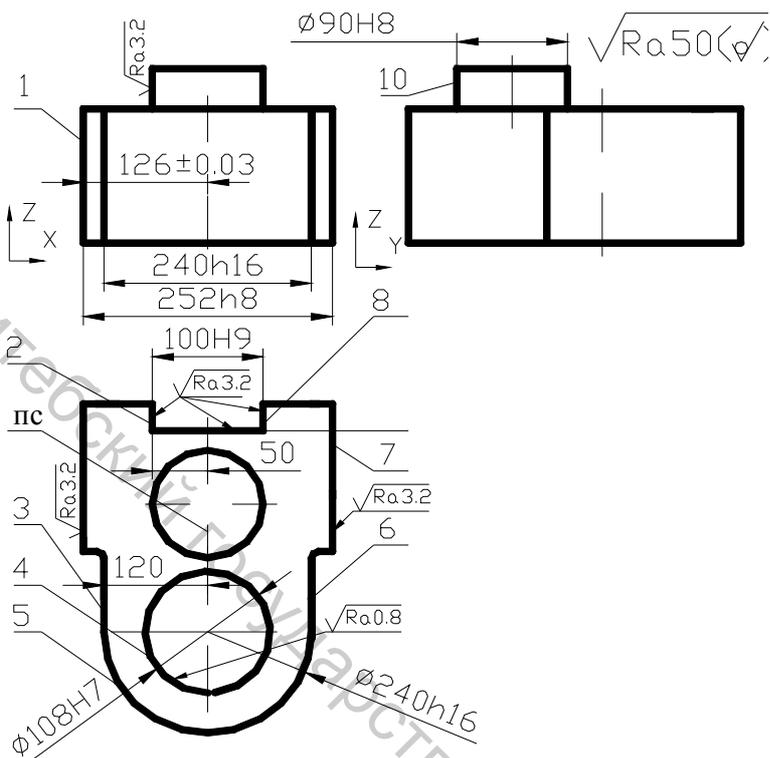


Рис. 3.10. Эскиз детали

Граф размерных связей детали по осям, кроме того, отражает отношения параллельности (допуск параллельности составляет часть допуска на размер), соосности и симметричности между главными плоскостями и осями ФМ, как величинами производными от линейного размера. На графах отражаются обрабатываемые и необрабатываемые поверхности.

Однако установлено, что для построения графов размерных связей у корпусных деталей нет формальных правил, если детали имеют общую плоскость симметрии и ряд ФМ вращения (в том числе и соосных), оси которых лежат в этой плоскости. Так для детали, представленной на рисунке 3.11, графы размерных связей по оси X можно построить различным образом, например, так как это представлено на рисунке 3.8-а, б, в, г.

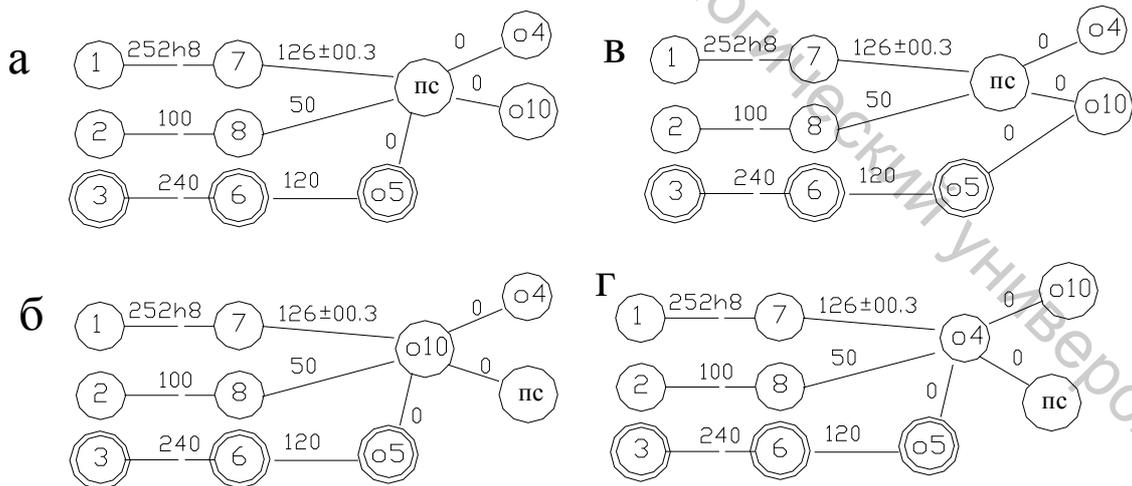


Рис. 3.11. Варианты графов размерных связей по оси X

○ – обрабатываемые поверхности; ● – необрабатываемые поверхности

Для решения проблемы построения графов размерных деталей симметричных деталей предлагается использовать положения ГОСТ 25069-81 на неуказанные допуски взаимного расположения.

Предлагается указанные графы строить в следующей последовательности:

1. В необходимом координатном направлении вначале отыскивается базовый ФМ и с ним связывается плоскость симметрии комплекса необрабатываемых элементов конструкции, затем эта процедура повторяется для комплекса обрабатываемых элементов. Для этого устанавливается факт задания допуска симметричности или соосности в явном виде и далее:

1.1. Если на чертеже детали имеются элементы, для которых допуски симметричности или соосности (как правило, комплекс обрабатываемых поверхностей) заданы в явном виде, то за базовый элемент для всех прочих элементов принимается базовая поверхность элемента, для которого указанный допуск задан в явном виде (все прочие элементы на графе соединяются ребром с базовым элементом).

1.2. Если на чертеже детали допуски симметричности заданы по умолчанию, то за базовый элемент, к которому относится неуказанный допуск симметричности, нужно принимать плоскость (ось) симметрии элемента имеющего большую длину в плоскости параллельной плоскости симметрии, при одинаковых длинах – плоскость (ось) элемента с допуском размера по более точному качеству в направлении перпендикулярном плоскости симметрии, а при одинаковых длинах и качествах – элемента с большим размером в направлении, перпендикулярном плоскости симметрии. Если и размеры одинаковы, то по технологическим соображениям предпочтение следует отдавать поверхности вращения.

1.3. В том случае, если имеются соосные поверхности, а допуск соосности для них не задан, то за базовый элемент принимается ось поверхности, имеющей наибольшую длину, при одинаковых длинах – ось поверхности с допуском диаметра по более точному качеству, а при одинаковых длинах и качествах – ось поверхности с большим диаметром.

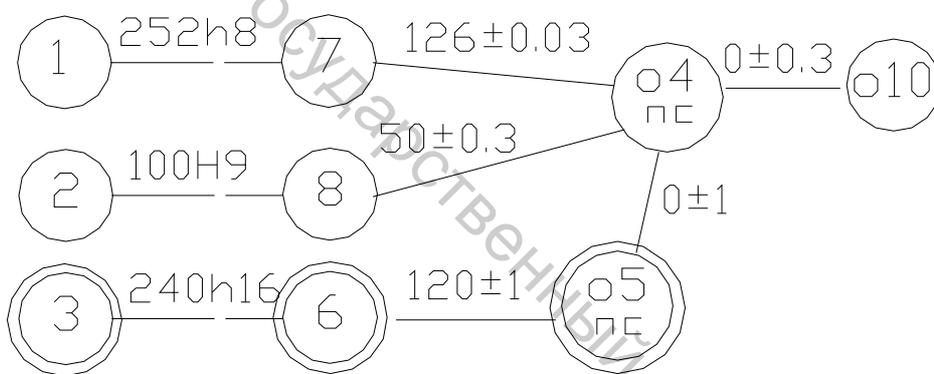
2. базовые элементы комплексов обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей связываются ребром графа и отыскивается численное значение допуска симметричности (соосности) по таблицам в зависимости от номинального размера и определяющего допуска размера (согласно ГОСТ25069-81). Под номинальным размером понимается больший из размеров рассматриваемого или базового симметричного элемента (больший из диаметров рассматриваемого или базового элементов). Под номинальным допуском размера понимается допуск размера рассматриваемого или базового симметричного элемента по более грубому качеству (допуск диаметра рассматриваемого или базового элемента по более грубому качеству).

В том случае если базовыми поверхностями комплекса обработанных и необработанных поверхностей являются оси поверхностей вращения, то численное значение допуска предлагается принимать по более жесткому значению либо допуска соосности, либо симметричности.

Граф размерных связей, построенный с помощью формальных правил представлен на рис. 3.12.

Эти правила позволяют сократить до минимума число альтернатив возможных вариантов построения графов размерных связей корпусных деталей с плоскостью симметрии и создают условия для автоматизации проектирования процедуры синтеза порядка обработки поверхностей и схем базирования.

Для построения графов размерных связей для деталей, у которых некоторые



ФМ расположены под углом, предлагается производить разворот системы координат рассматриваемого ФМ на соответствующий угол (углы) в заданном координатном направлении. Дальнейшее построение графа производится по стандартным

Рис. 3.12. Граф размерных связей, построенный с помощью формальных правил

правилам построения графов для линейной размерной цепи.

Под **графом угловых расположений** понимается граф, отражающий отношения перпендикулярностей и углов между главными поверхностями ФМ с учетом особенностей их технологического обеспечения. Графы угловых расположений внутри этапа можно представлять в виде либо ориентированных связных графов (всего 2), либо несвязных орграфов по трем координатным направлениям (всего 6). Стрелками на графе указывается отношение перпендикулярности или угла рассматриваемого ФМ к поверхности ФМ, являющейся конструкторской базой. Направление стрелки указывает базовый элемент, по отношению к которому ориентируется поверхность.

Графы угловых расположений предлагается формировать согласно принципам однозначности и корректности задания ориентации элементов конструкции относительно того или иного комплекта баз ориентации (глава 2), положениям ГОСТ 25069-81, а также исходя из следующих основных положений:

• За базу, к которой относится неуказанный допуск перпендикулярности в одном координатном направлении, принимается элемент (или его ось) из числа обрабатываемых или необрабатываемых конструктивных элементов (в зависимости от того какой граф формируется), имеющая больший размер в рассматриваемых перпендикулярных направлениях, а при одинаковых размерах – поверхность, имеющая меньшую шероховатость. Если деталь имеет элементы, для которых указаны допуски перпендикулярности, то неуказанные допуски следует относить к тем же базам, что и указанные. Числовые значения неуказанных допусков перпендикулярности также определяются в зависимости от номинального размера и определяющего допуска размера.

• Обрабатываемая главная плоскость ФМ (1) может ориентироваться в координатных направлениях относительно следующих компонентов комплекта баз ориентации (см. табл. 2.1):

а) двух явных плоскостей комплекта (рисунок 3.13. а, плоскости 2 и 3);

б) явной плоскости и плоскости симметрии (рисунок 3.13. б, плоскости 2 и 3);

в) оси и скрытой плоскости проходящей через ось (в частности плоскости симметрии) (рисунок 3.13 в, оси  $o3$  и плоскости  $\pi$ );

г) плоскости, проходящей через оси двух отверстий и другой плоскости.

• Обрабатываемая главная ось ФМ может ориентироваться в координатных направлениях относительно следующих компонентов комплекта баз (см. табл. 2.1.):

а) явной плоскости (рисунок 3.14. а, плоскость 1);

б) оси и плоскости связанной с осью (в частности к плоскости симметрии) (рисунок 3.14. б, ось  $o1$  и плоскость  $\pi$ );

в) плоскости, проходящей через оси двух отверстий (в частности плоскости симметрии) (рисунок 3.14 в, плоскость  $\pi$  и оси  $o1$  и  $o2$ );

г) плоскости симметрии плоских элементов.

• В связи с тем, что необходимое относительное расположение поверхностей может быть обеспечено прямым и косвенным путями граф угловых расположений может отражать угловую ориентацию не только отдельной поверхности ФМ, но и всего ФМ, у которого обычно известны внутренние локальные характеристики.

Прямое обеспечение заданных требований к расположению поверхностей может быть реализовано обработкой:

1. от единой базы всех поверхностей, связанных указанными требованиями за один установ (рисунок 3.15, а поверхности 1), что характерно для обработки

функционального модуля (ФМ) целиком (т.е. обеспечение внутренних параметров ФМ);

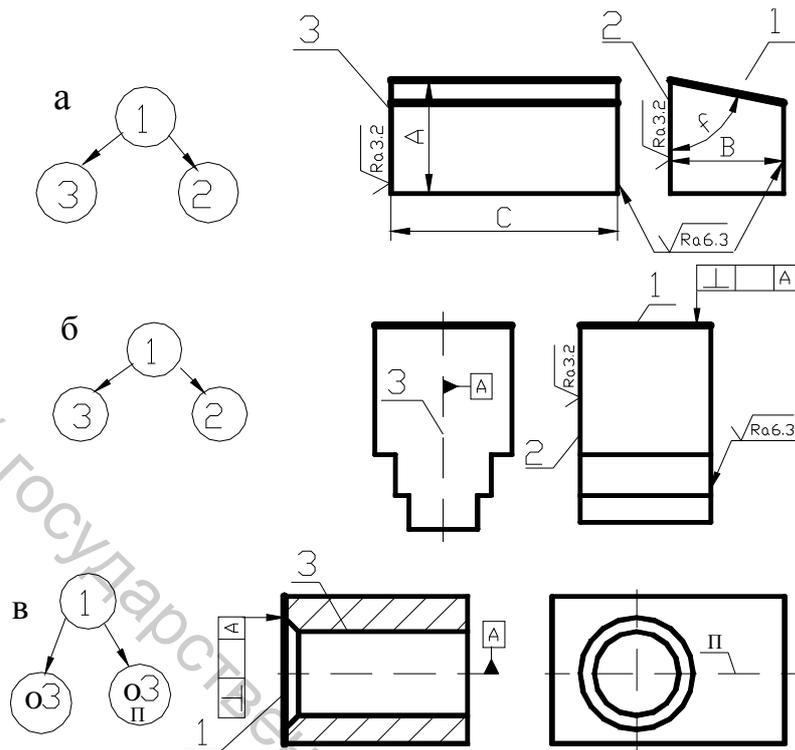


Рис. 3.13. Иллюстрация определения перпендикулярности плоскости к компонентам комплекта

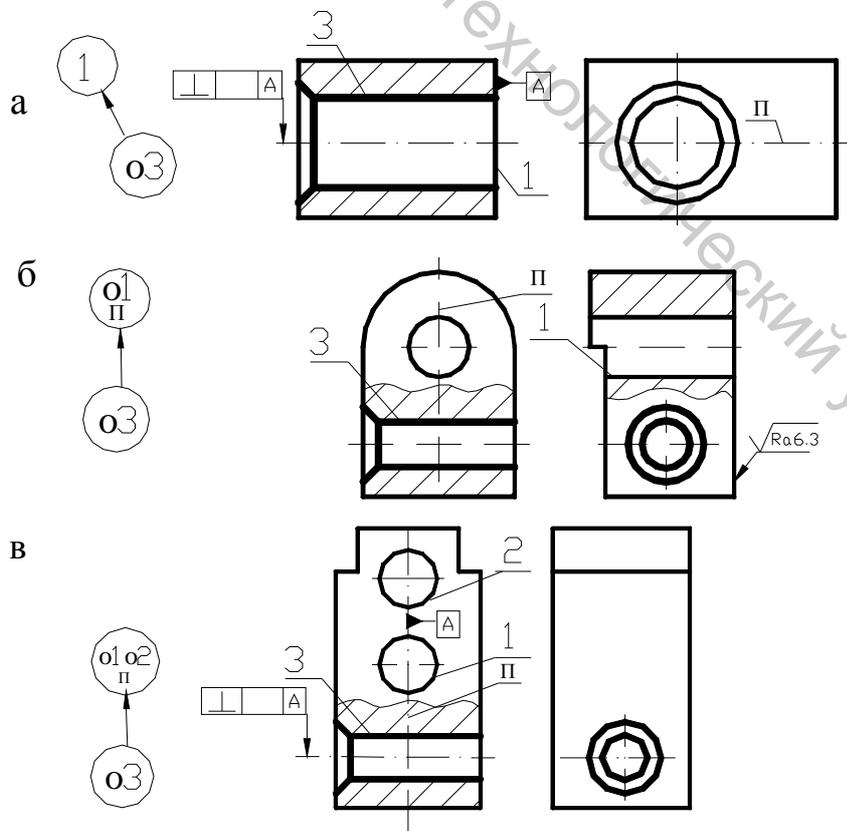


Рис. 3.14. Иллюстрация определения перпендикулярности главной оси ФМ к компонентам комплекта

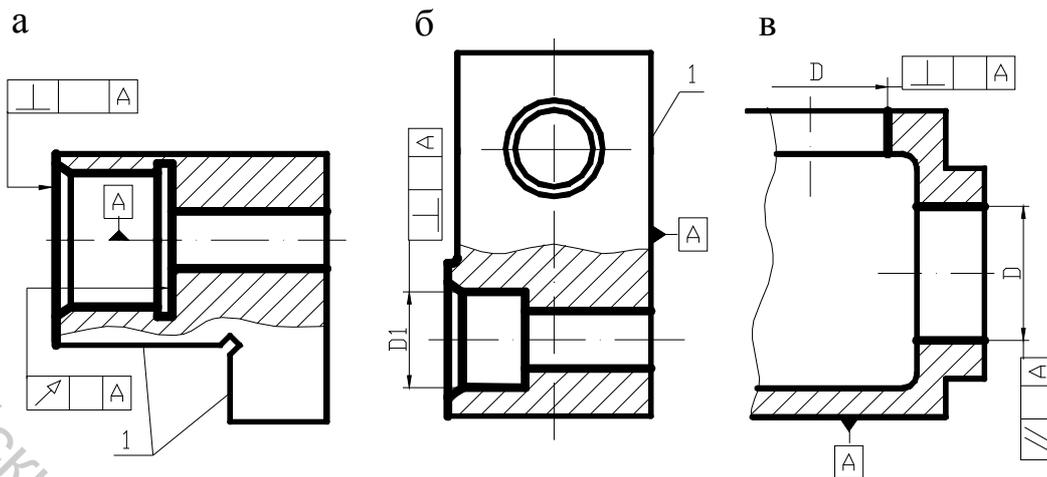


Рис. 3.15. Иллюстрация методов прямого обеспечения требований к расположению поверхностей

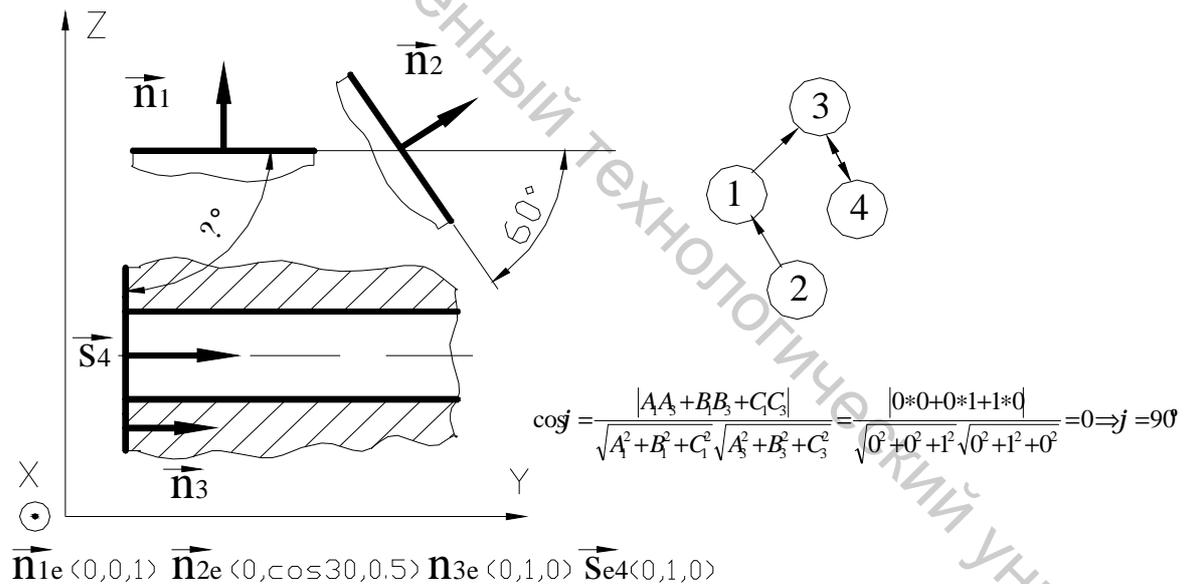
2. от единой базы за несколько установов (рисунок 3.15, в);
3. от разных баз при использовании одной из связанных требованиями точности относительного расположения поверхностей в качестве базы (рисунок 3.15, б).

Для случая показанного на рисунке 3,15-а на графе угловых расположений отражается ориентация торцевой главной поверхности модуля относительно его главной оси. Чтобы предусмотреть вариант, когда нет оборудования для одновременной обработки торца и отверстия, а заданные требования перпендикулярности можно обеспечить, используя в качестве базы ось либо торец, то на графе отражается ориентация торцевой поверхности относительно другой «внешней» главной поверхности ФМ.

В случае, показанном на рисунке 3,15-б, при обработке выделенных поверхностей ФМ в качестве базы применяется предварительно обработанная поверхность 1. В случае показанном на рисунке 3,15-в невозможность обработки без специального приспособления и поворотного стола на горизонтально-расточном станке за один установ нескольких отверстий, параллельных базе А, и одного перпендикулярного к ней, вынуждает вести обработку последнего либо на другом станке, либо с установкой в другом приспособлении. Однако принимать решение о возможности обработки тех или иных функциональных модулей или поверхностей на том или ином оборудовании необходимо на стадии проектирования структуры операции (глава 5). Соответствующие графы для детали, изображенной на рис. 3.7 представлены в главе 5.

Графы размерных связей и графы угловых расположений предлагается хранить с помощью матриц смежности и инцидентий.

Для формального автоматического построения графов угловой ориентации главных поверхностей друг относительно друга предлагается использовать понятие единичного вектора плоскости или оси. Под единичным вектором плоскости будем понимать любой вектор единичной длины, перпендикулярный рассматриваемой плоскости и имеющий начало в начале системы координат. Под единичным вектором прямой будем понимать любой вектор единичной длины, параллельный рассматриваемой оси и имеющий начало в начале системы координат. Если в качестве координат  $A, B, C, m, n, p$ , и принять координаты единичного вектора уравнения главной плоскости ФМ проходящей через данную точку с заданным нормальным вектором и единичного вектора уравнения прямой ФМ в каноническом виде, то можно определять показатели взаимного углового расположения любых пар поверхностей внутри функционального модуля и детали в целом. Определив базовые поверхности для ориентации и численные значения допусков (по протяженности поверхности в координатном направлении и ее шероховатости см. выше) можно в автоматическом режиме сформировать графы угловых расположений (рис. 3.16).



*Рис. 3.16. Иллюстрация формального определения ориентации поверхностей*

Угловую ориентацию ФМ относительно глобальной системы координат всей детали предлагается характеризовать углами поворота осей локальной системы координат ФМ относительно глобальной. Номинально оси локальной системы координат имеют одинаковое направление с осями глобальной системы. При повороте осей локальной системы координат относительно глобальной, значения ориентации единичных векторов можно легко пересчитать. Поворот оси локальной системы координат считается положительным, если осуществляется против часовой стрелки.

## 3.2. Формализация назначения маршрута обработки элементов конструкции

### 3.2.1. Синтез маршрута обработки элементов конструкций корпусных деталей в станкостроении

На основе анализа работы технологических бюро машиностроительных предприятий и анализа литературных источников установлено, что существует два метода определения маршрутов обработки ФМ:

- 1) с помощью синтеза возможных вариантов маршрута на основе моделирования состояния показателей его качества;
- 2) с помощью стандартных маршрутов, применяемых на том или ином предприятии.

В процессе механической обработки корпусных деталей машин в изменение состояния ФМ детали от исходного до конечного, как правило, осуществляется за несколько технологических переходов, по мере выполнения которых постепенно повышаются показатели его качества.

В процессе механической обработки корпусных деталей машин ФМ изменяют свое состояние от исходного  $C_0$  до конечного  $C_{\text{кн}}$ . Состояние типовой конструктивного элемента характеризуется следующим символьным равенством

$$C_i = \langle K\Phi_i, \{A_j, TA_j\}_i, Ra_i, H_i \rangle,$$

где  $K\Phi_i$  – код формы поверхности в  $i$ -ом состоянии;  $A_j$  – элемент множества размеров, характеризующих поверхность и ее относительное расположение;  $TA_j$  – параметр точности размера  $TA_j$ ;  $Ra_i$  – параметр шероховатости поверхности в  $i$ -ом состоянии;  $H_i$  – характеристика ее твердости.

Промежуточное или окончательное состояние ФМ достигается в результате выполнения технологических переходов. Изменение состояния поверхности от исходного до конечного, как правило, осуществляется за несколько технологических переходов, по мере выполнения которых постепенно повышается качество поверхности (точность размера и формы, точность положения, качество поверхностного слоя и т.д.). Каждое изменение состояния поверхности может осуществляться различными способами и на различном оборудовании.

Функция метода обработки  $M$  как преобразование поверхности из состояния  $C_{i-1}$  в более точное состояние  $C_i$ , может быть отражена условно ду-

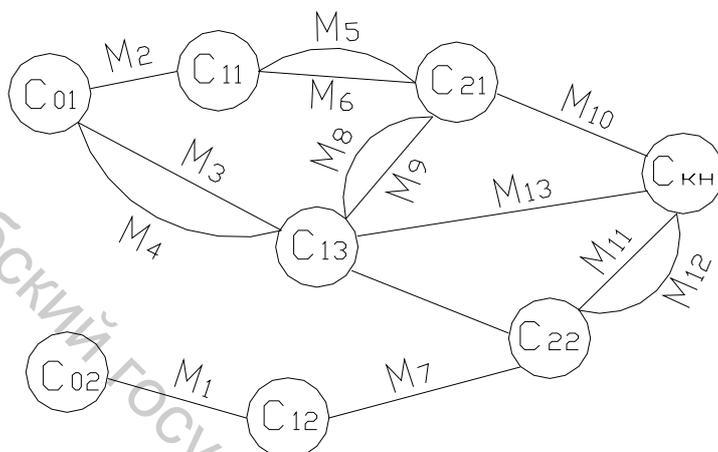


Рис. 3.17. Граф возможных вариантов маршрутов обработки типовой поверхности

можных вариантов маршрута ее обработки. Пример такого графа показан на рис. 3.17. Любой путь на графе из  $C_0$  (в данном случае два варианта исходных состояний  $C_{01}$  и  $C_{02}$ ) в  $C_{кн}$  будет одним из вариантов маршрута обработки типовой поверхности.

Каждый метод (способ, переход) характеризуется не только параметрами состояния поверхности, которые образуются после его реализации ("выходом") но и параметрами состояния поверхности на "входе", то есть на заготовке (исходной или промежуточной). Кроме того, характеристикой выхода является удельная производительность метода (либо затраты основного времени).

Для реализации первого метода разработан алгоритм для автоматического синтеза всех возможных вариантов маршрутов обработки для ФМ низких рангов.

Исходными данными для расчета являются: классификатор переходов механической обработки деталей, классификатор ФМ по степени сложности, таблицы соответствия кода поверхности набору кодов переходов, таблица уточненных переходов. С помощью иерархического классификатора ФМ (см. глава 2) формируется идентификационный семизначный код ФМ нулевого ранга (рис. 3.18.). Здесь 0211212 – ФМ нулевого ранга, вращения, функцио-

гой графа  $M_i$  с вершинами  $C_{i-1}$  и  $C_i$ . Если состояние  $C_i$  может быть достигнуто различными методами обработки  $M_1, M_2, \dots, M_b$ , то совокупность их функций образует подграф с вершиной  $C_i$ . Множество состояний поверхности и методов их достижения можно отразить графом воз-

нальный, элементарный, цилиндр, открытый, внутренний. Пусть для него IT=7, HRC=28, D=35 мм., P=43 мм. Заготовка IT=16.

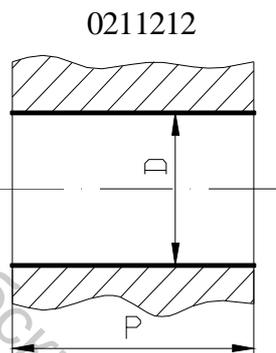


Рис. 3.18. ФМ нулевого ранга

С помощью таблицы соответствия (фрагмент которой представлен в табл. 3.3.) выбираются коды переходов, соответствующие сформированному идентификационному коду элемента конструкции. Здесь согласно классификатору переходов: 003 (РСТПр) –растачивание продольное (токарный станок), 010 (РСТПрр) – растачивание продольное резцом (расточной станок), 020 (СВР) –сверление, 021 (РСВР) рассверливание, 023 (РЗВР) – развертывание и т. д.

Из таблицы уточненных переходов (табл. 3.4, в ней указывается уточненный код перехода в зависимости от диапазона изменения качества точности при предварительной, чистовой, отделочный и однократной обработке) в соответствии с отобранными кодами, отбираются те уточненные коды переходов, которые обеспечивают уровень точности равный или более низкий, чем заданный условиями задачи.

Таблица 3.3.

Фрагмент таблицы соответствия кода ФМ низкого ранга коду перехода

Код ФМ							Код перехода
..	..	..	..	..	..	..	...
0	2	1	1	2	1	2	003, 010, 011, 012, 020, 021, 022, 023, 064, 070
0	2	1	1	3	1	1	001, 002, 010
0	2	1	1	3	1	1	003, 010, 011, 022, 023, 064, 070
0	2	2	1	1	1	1	030, 031, 040, 041, 050, 060, 061, 062
..	..	..	..	..	..	..	...

Таблица 3.4.

Фрагмент таблиц уточненных кодов переходов

Код перехода	Размеры	Припуск на сторону	Показатели качества				Условия (HRC)
			Вход		Выход		
			IT	Ra	IT	Ra	
...	...	...	...	...	...	...	...
0024	D(10...300)	Напуск	14...17	12,5...25	9...14	3,2...6,3	< 32
0021	L(2...30)	Напуск	14...17	12,5...25	12...14	6,3...12,5	< 32
0022		1...3	10...14	6,3...12,5	9...11	2,5...3,2	< 32
0034	D(10-300)	2...5	17...19	25...60	10...12	3,2...6,3	< 32
0030	D(40-300)	2...5	17...19	25...60	15...16	12,5...25	< 32
0031	D(20-300)	1,5...4	17...19	25...60	12...14	6,3...12,5	< 32
0032	D(10-300)	1...2	12...14	6,3...12,5	8...10	0,8...3,2	28...32
0033	L(30-1000)	0,3...0,5	8...10	0,8...3,2	6...7	0,2...0,8	28...32
...	...	...	...	...	...	...	...
0104	D(20-300)	2...5	17...19	25...60	10...12	3,2...6,3	< 32
0100	D(40-300)	2...5	17...19	25...60	15...16	12,5...25	< 32
0101	D(20-300)	1,5...4	17...19	25...60	12...14	6,3...12,5	< 32
0102	D(20-300)	1...2	12...14	6,3...12,5	8...10	0,8...3,2	28...32
0103	L(30-200)	0,3...0,5	8...10	0,8...3,2	6...7	0,2...0,8	28...32
...	...	...	...	...	...	...	...

Результаты этого шага заносятся в таблицу первого уровня (табл. 3.5.).

Таблица 3.5.

	На входе	На выходе
0034	17...19	10...12
0031	17...19	12...14
0032	12...14	8...10
0033	8...10	6...7
0104	17...19	10...12
0101	17...19	12...14
0102	12...14	8...10
0103	8...10	6...7
0114	17...19	10...12
0111	17...19	12...14
0112	12...14	8...10
0113	8...10	6...7
0123	7...8	5...6
0224	14...17	10...13
0221	14...17	10...13
0222	10...13	9...11
0234	10...14	9...10
0232	9...10	7...8
0233	7...8	5...6
0644	12...14	6...8
0641	12...14	8...10
0642	8...10	6...7
0643	6...7	5...6
0701	9...10	7...8
0702	7...8	5...6
0703	5...6	4...5

Таблица 3.7.

Выход	Код перехода	Вход
9	0032	13
9	0102	13
9	0112	13
9	0222	10
9	0234	10
9	0641	13
10	0034	17
10	0032	14
10	0104	17
10	0102	14
10	0114	17
10	0112	14
10	0224	14
10	0221	14
10	0222	13
10	0234	14
10	0641	14

Квалитет точности конечного состояния сравнивается последовательно в каждой строке этой таблицы с диапазоном квалитетов точности на «выходе» перехода.

В зависимости от граничных условий либо осуществляется переход к следующей строке таблицы первого уровня без записи, либо из заданной строки выписываются в столбец «вход» новой таблицы (второго уровня) соответствующее значение квалитета точности (табл. 3.6.) столбца «выход» данной таблицы первого уровня, а также соответствующий код перехода и т.д.

Таблица 3.6.

Выход	Код перехода	Вход
7	0033	10
7	0103	10
7	0113	10
7	0232	9
7	0642	10
7	0701	9

Таблица 3.8.

Выход	Код перехода	Вход
13	0031	18
13	0101	18
13	0111	18
13	0224	17
13	0221	17
14	0031	19
14	0101	19
14	0111	19

Совокупность таблиц второго, третьего и более высоких уровней (табл. 3.7.-3.8.) позволяет сформиро-

вать искомую совокупность маршрутов обработки типовых ФМ. Искомая совокупность для рассматриваемого примера имеет вид представленный на рис. 3.19.

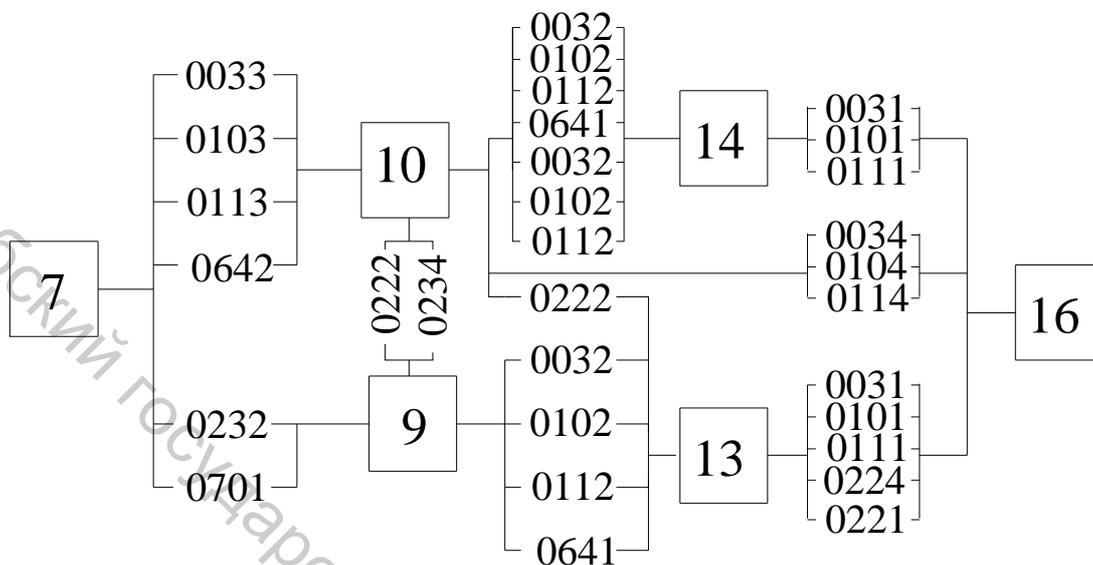


Рис. 3.19. Граф вариантов маршрута обработки поверхности

Несложно оптимизировать маршрут обработки для ФМ любого ранга сложности (после его задания набором ФМ низких рангов) по критериям предпочтения (однородность обработки, число переходов основное время обработки).

### 3.2.2. Использование типовых технологических регламентов

Для формализации назначения маршрута по второму методу предлагается ввести понятие технологического регламента (ТР) – совокупности упорядоченной технологической информации о ФМ.

При механической обработке детали функциональный модуль претерпевает ряд изменений связанных со снятием припусков и напусков. Поэтому в технологическом регламенте предлагается отражать сведения о формах ФМ после заготовительного этапа технологического процесса, предварительной и чистовой обработки (рис. 3.20.). С их помощью можно легко получить форму ФМ внутри этапа механической обработки.

В таблице 3.9. приводится предлагаемая структура технологического регламента. Где N – номер обрабатываемого ФМ нулевого ранга; АВ – набор кодов характеризующих наименование перехода (А – код наименования перехода, В – код вида перехода и его точности); Н – код вида режущего инструмента; М – код фрагмента управляющей программы для станков с число-

вым программным управлением; К – код этапа типовой схемы обработки в который распределяется переход .

Разработаны технологические регламенты обработки наиболее часто применяемых на станкостроительных предприятиях комплексных функциональных модулей. Так в таблице 3.10 приводится фрагмент технологического регламента обработки ФМ ОББ1.

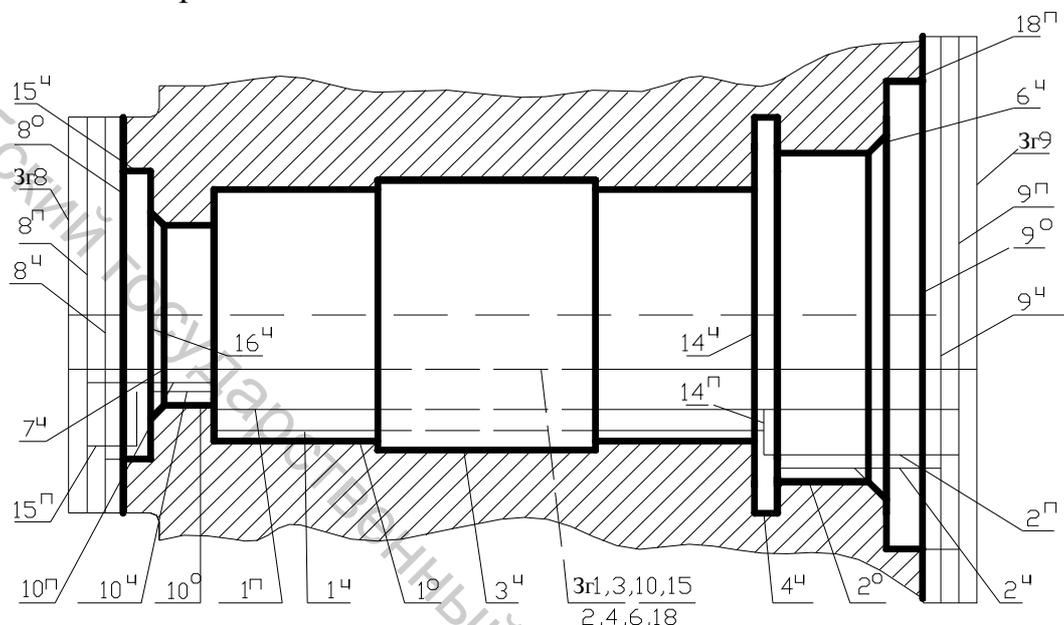


Рис. 3.20. Схема распределения допуска по этапам для ФМ ОББ1  
Зг – заготовка, п, ч, о – этапы на котором образуется поверхность

Таблица 3.9

Структура технологических регламентов обработки ФМ

№ пере- хода	Код ФМ				
1	N1(1)	AB1	H1	M1	K1
2	N2(1)	AB2	H2	M2	K2
...					
n-1	Ni(j-1)	ABn-1	Hn-1	Mn-1	Kn-1
n	Ni(j)	ABn	Hn	Mn	Kn

Как было показано ранее, из комплексного ФМ методом адресации можно получить частный модуль, заданный чертежом. Этим же методом из соответствующего комплексного технологического регламента можно получить технологический регламент для заданных показателей качества ФМ. Так, например, отбросив ненужные переходы из комплексного технологического регламента, можно получить список переходов обработки конкретных модулей (рис. 3.21).

Фрагмент технологического регламента обработки ФМ ОВБ 1

ТР ОВБ1 (отверстие пролито)				
1	9 <sup>П</sup>	0211 ФРЗПлГ 0051 ПОДТ	0510 0110	1
2	1 <sup>П</sup>	0101 РСТПрр	0110(1)	1
3	2,14 <sup>П</sup>	0101 РСТПрр 0114 РСТПрб	0110(1,2) 0112	1
4	18 <sup>П</sup>	0101 РСТПрр 0114 РСТПрб	0110(1,2) 0112	1
5	8 <sup>П</sup>	0211 ФРЗПлГ 0051 ПОДТ	0510 0110	1
6	10 <sup>П</sup>	0101 РСТПрр	0110	1
7	15,16 <sup>П</sup>	0101 РСТПрр 0114 РСТПрб	0110(1,2) 0112	1
8	9 <sup>Ч</sup>	0212 ФРЗПлГ 0051 ПОДТ	0510 0110	9-10
9	1 <sup>Ч</sup>	0102 РСТПрр	0110(1)	9-10
...	...	...	...	...
22	10 <sup>О</sup>	0103 РСТПрр 0443 ШЛКрВнП	0110 0701	13

В том случае, если отверстие не пролито то добавляются переходы 0204 ЦЕНТР, 0131 СВР, 0144 РСВР

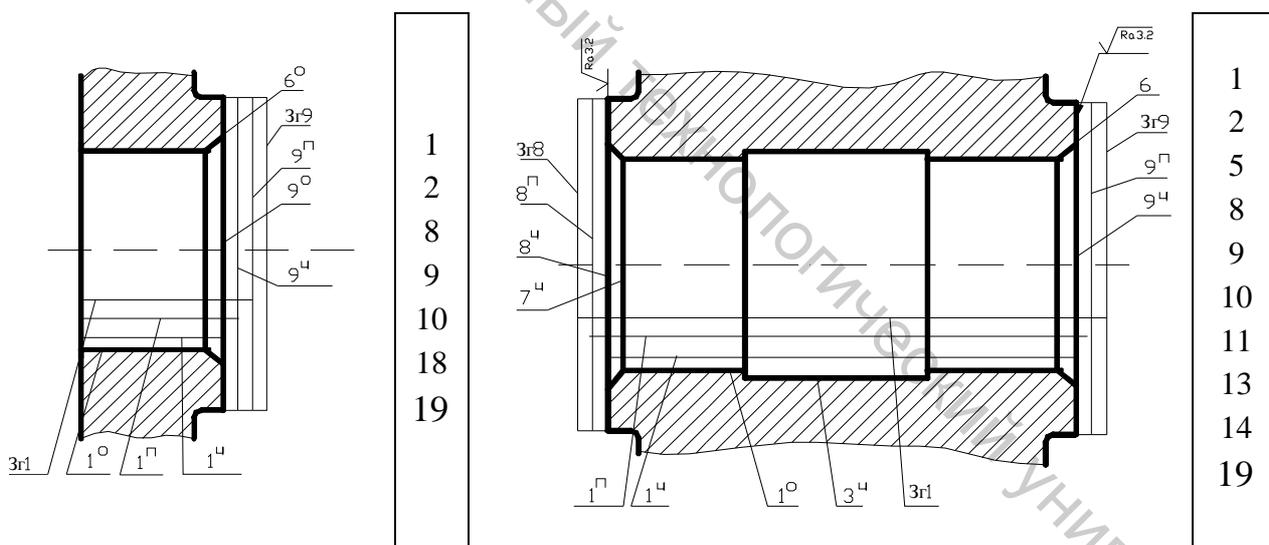


Рис. 3.21. Частные случаи комплексного ФМ ОВБ1 и номера переходов, необходимые для его обработки

Очевидно, чем выше уровень иерархии функционального модуля, тем эффективнее использование технологических регламентов при синтезе технологического процесса. Однако увеличение уровня иерархии используемых ФМ требует значительного увеличения объема базы данных.

Результатом представления корпусной детали в виде набора технологических регламентов является неупорядоченный массив переходов обработки конструктивных элементов на этапах типовой схемы обработки.

### 3.3. Выводы по главе 3

1. предлагается рассматривать корпусную деталь в виде совокупности взаимосвязанных конструктивных элементов (функциональных модулей) разных уровней сложности и различного назначения, а также структуры размерных и угловых связей между ними, что позволяет связать элементы классификации с основами проектирования схем базирования и установки, а также технологии механической обработки заготовок в целом;

2. разработаны принципы классификации и классификаторы комплексных функциональных модулей и технологических регламентов их обработки, позволяющие повысить качество проектирования технологических процессов за счет типизации проектных решений;

3. предлагается функциональные модули характеризовать и представлять внутренними (база данных о форме, размерах, взаимном расположении и показателях качества компонентов ФМ) и внешними (графы размерных связей и углового расположения рассматриваемого модуля с другими модулями) показателями, что позволяет преобразовать конструкторскую информацию в *форму удобную для формального принятия технологических решений* в процедурах синтеза маршрута обработки, схем базирования и схем установки;

4. разработан алгоритм построения графов углового расположения главных поверхностей ФМ, отличающийся тем, что отношение перпендикулярности и углов между поверхностями предлагается определять с помощью положений об однозначности ориентации поверхностей функционального модуля относительно конструкторского комплекта баз ориентации и избыточности информации на чертеже;

5. предложен метод построения графов размерных связей корпусной детали с плоскостью симметрии и соосными поверхностями, оси которых лежат в плоскости симметрии, позволяющие до минимума сокращается число вариантов соединения вершин ребрами;

6. разработаны стандартные маршруты обработки (технологические регламенты) ряда комплексных ФМ, а также алгоритм синтеза маршрутов обработки ФМ низких рангов сложности, на основе моделирования показателей их качества, позволяющие определить форму ФМ, а также массив переходов обработки ФМ и заготовки на этапах типовой схемы изготовления и окончательно сформировать конструкторско-технологическая модель детали и состояния заготовки на этапах обработки с необходимым для автоматизации процедур проектирования схем базирования, схем установки, маршрута обработки и структуры операций набором параметров.

## ГЛАВА 4

### МЕТОД ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРЯДКА СМЕНЫ КОМПЛЕКТОВ БАЗ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

#### 4.1. Типовая схема обработки заготовок корпусных деталей

Как показывает практика, наращивание точности формы, размеров и относительного расположения поверхностей детали, повышение качества ее поверхностей должно осуществляться одновременно по всем основным элементам детали. Для этого сначала следует достигнуть одного уровня точности заготовки для основных поверхностей ФМ, затем начать их повторную обработку, стремясь к следующему уровню точности, и так до тех пор, пока не будут обеспечены требования точности, заданные чертежом детали. Причиной такого разделения технологического процесса изготовления детали на *этапы* служит невозможность с помощью однократной обработки всех поверхностей получить из заготовки 16-17 качества точность деталь 7-8 качества и необходимость включения внестаночных операций – химико-термической обработки и нанесения покрытий. В зависимости от целей и назначения внестаночных операций определяется их место в технологическом процессе и требования к обработке, предшествующей этим операциям.

Для синтеза маршрута обработки заготовки, прежде всего, необходимо распределить переходы обработки ФМ по этапам так называемой *типовой схемы изготовления детали*. Главный признак этапа типовой схемы – уровень точности, достигаемый по его завершении. Разработанная типовая схема обработки, представленная в таблице 4.1. и в развернутом виде на рис. 4.1, является результатом анализа технологических регламентов изготовления корпусных деталей и деятельности станкостроительных предприятий.

Таким образом, распределение переходов по этапам типовой схемы обработки (соответствующий код технологического регламента обработки ФМ) является первым шагом их упорядочения во времени.

#### 4.2. Метод формальной идентификации комплектов технологических баз ориентации внутри этапов типовой схемы обработки деталей

Основным положением метода является утверждение о том, что объект производства, полученный в результате реализации предыдущего этапа, является заготовкой для последующего.

Таблица 4.1.

## Типовая схема обработки корпусных деталей

№	Наименование этапа	Содержание этапа	IT	Ra
0	Заготовительный	Изготовление заготовки и ее подготовка к обработке	18-20	30-50
1	Предварительный	Удаление напусков и части припусков с основных и вспомогательных баз, крупных плоскостей и отверстий	14-15	12,5-6,3
2	Термический	Старение искусственное	15-16	
3	Малярный 1	Грунтование исходных поверхностей		
4	Чистовой 1	Обработка основных и вспомогательных баз, плоскостей, фасок и канавок для выхода инструмента.	12-14	6,3
5	Чистовой 2	Обработка крепежных отверстий, мелких плоских поверхностей, пазов	9-12	1,25
6	Отделочный	Окончательная обработка конструкторских баз	5-8	0,63
7	Малярный 2	Нанесение лакокрасочных покрытий		

Согласно разработанной методике необходимо:

**1. Для каждого этапа механической обработки построить модель заготовки.** На этой модели выделяются все обрабатываемые поверхности этапа, обозначаются припуски на механическую обработку и переносятся размерные связи и допуски относительных поворотов с чертежа детали. *Такой подход необходим для того, чтобы уменьшить число звеньев технологических размерных цепей.*

Для доказательства этого утверждения рассматривались различные варианты технологических процессов изготовления деталей. Так на рис. 4.2 представлен эскиз упрощенной детали, для которой известны поверхности подлежащие обработке внутри этапов. Для этой детали проанализируем три варианта маршрута ее обработки с указанием в одном координатном направлении технологических размеров (таблица 4.2.) и составим соответствующие им размерные схемы (рис. 4.3). Для первого и второго вариантов характерно неупорядоченное определение баз внутри этапов, а для третьего варианта размерные связи с чертежа детали перенесены на этапы типовой схемы обработки.

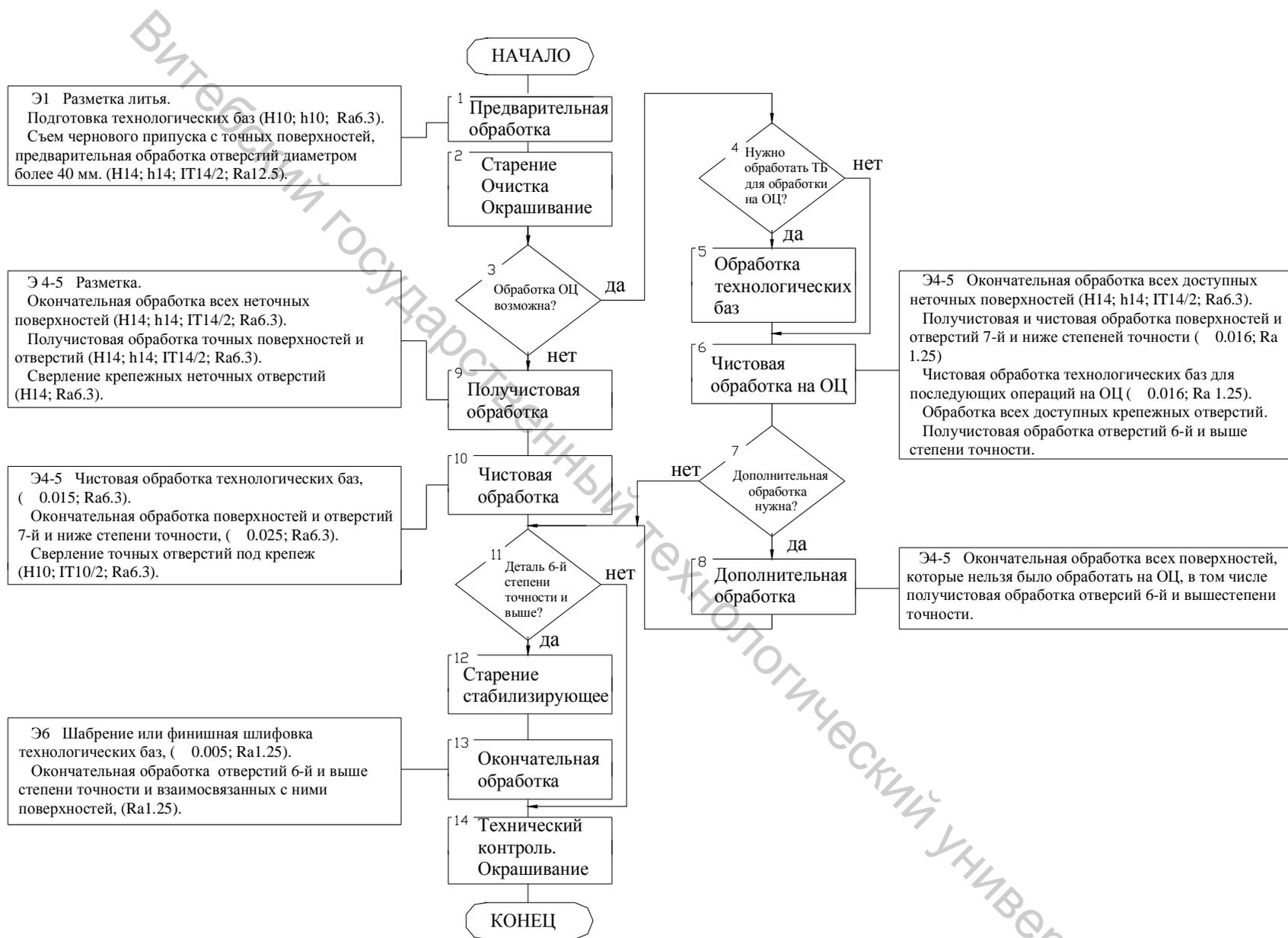
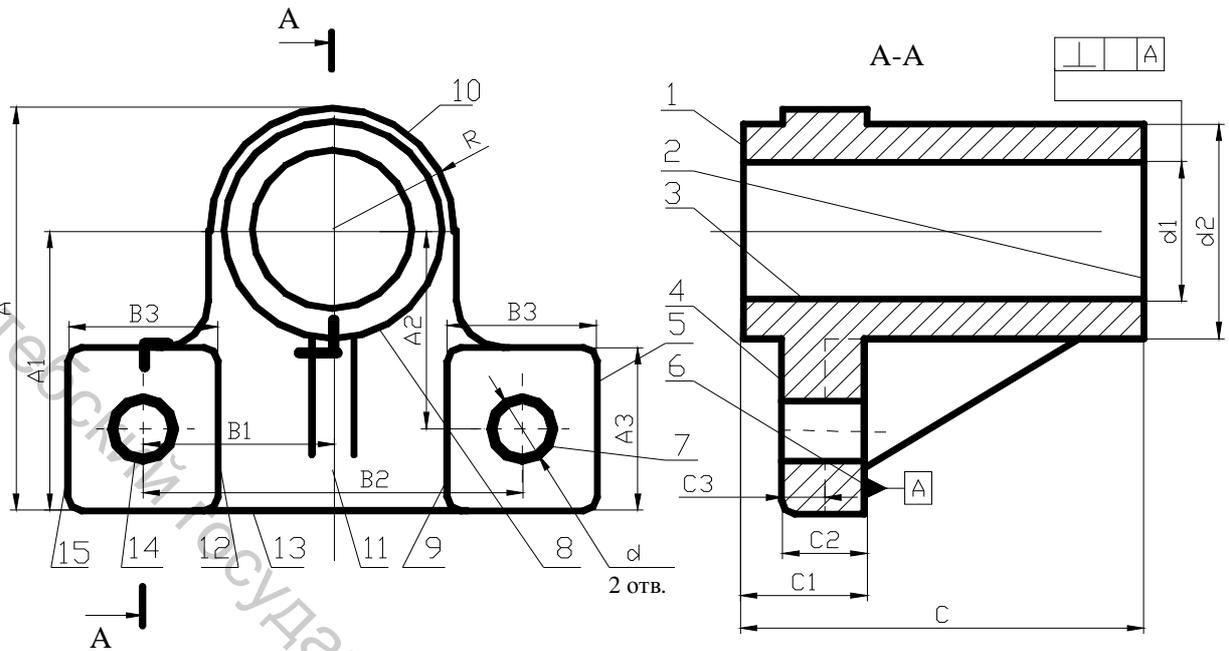


Рис. 4.1. Типовая схема технологического процесса изготовления средних корпусных деталей



Этапы	Предварительный	Чистовой	Отделочный
Поверхности	1, 2, 3, 6	1, 2, 3, 6, 7, 14	1, 2, 3

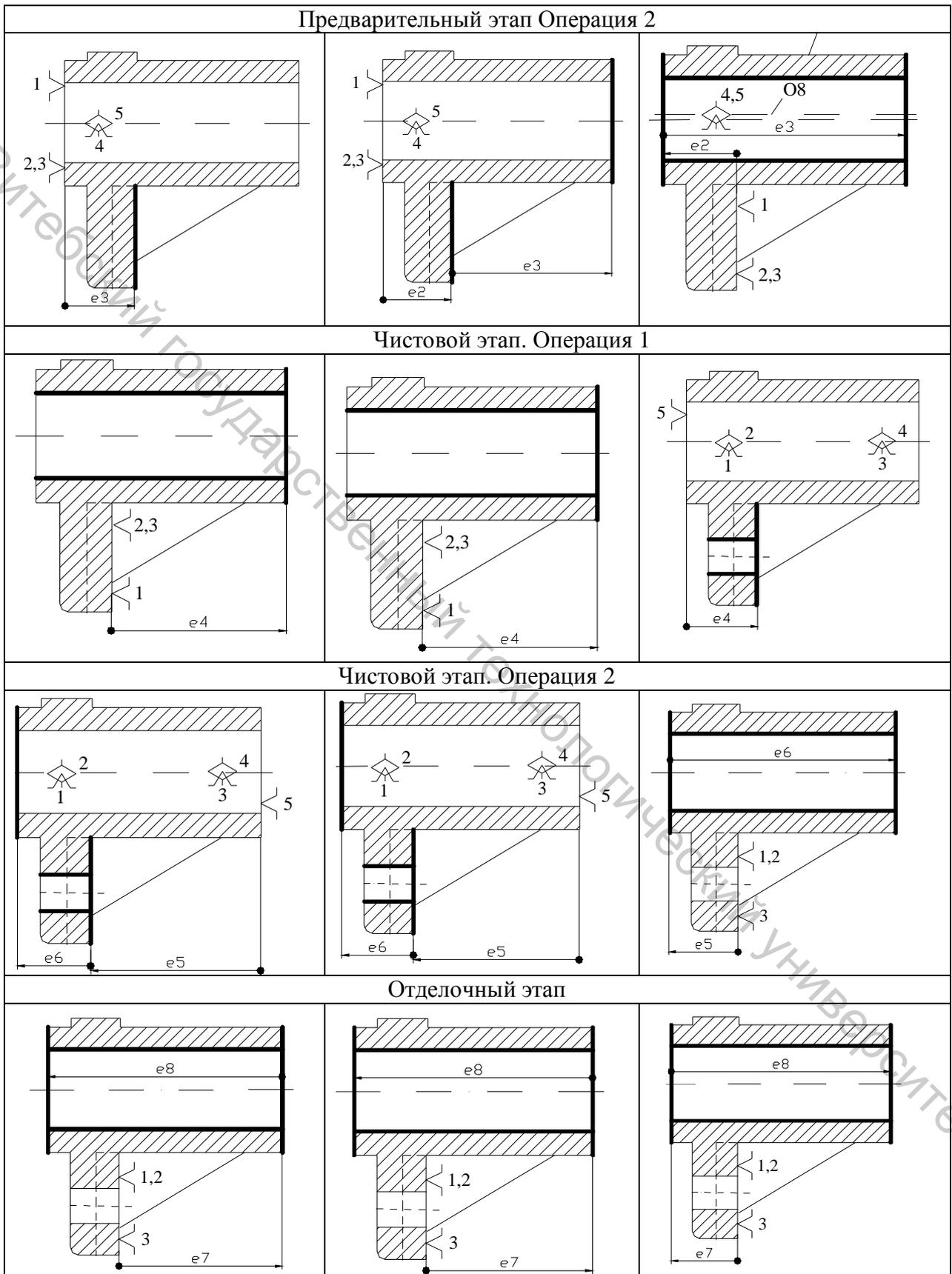
Рис.4.2. Эскиз детали с нумерацией поверхностей и таблица распределения поверхностей по этапам обработки

Таблица 4.2

Варианты маршрута обработки заготовки

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	2	3
Предварительный этап Операция 1		

Таблица 4.2 (окончание).



Для указанных вариантов исходный и производные графы технологического процесса показаны на рис. 4.4–4.5, а уравнения размерных цепей в таблице 4.3. Очевидно, третий вариант ТП является более предпочтительным. В этом варианте по чертежным размерам  $C1$  и  $C2$  получаются более короткие размерные цепи (таблица 4.3). Из восьми уравнений припусков по варианту 3 в шести число составляющих звеньев меньше или равно числу звеньев уравнений полученных по вариантам 1 и 2. Аналогичные выводы получались и при анализе других технологических процессов на другие детали.

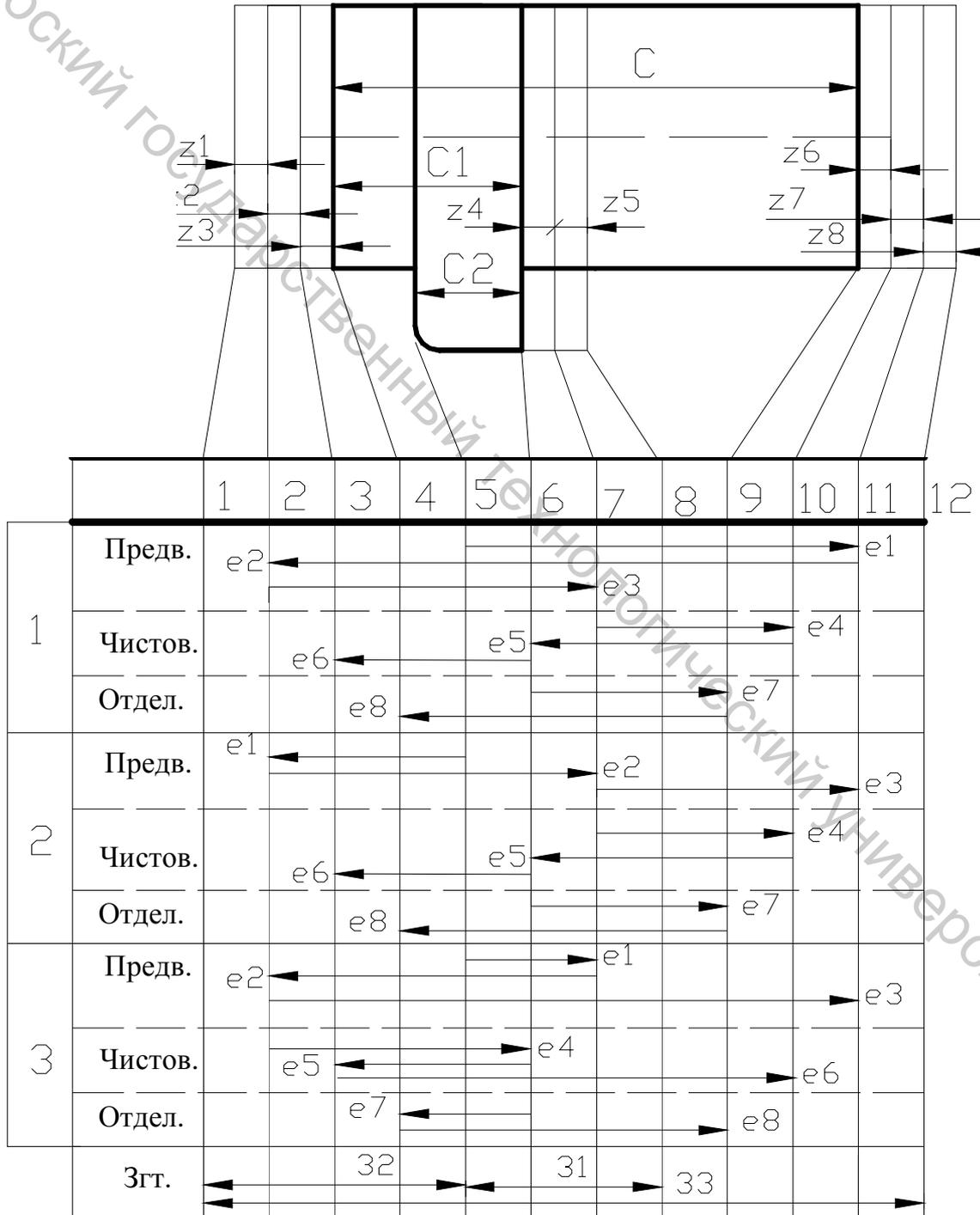


Рис. 4.3. Варианты размерных схем обработки

Витебский государственный технологический университет

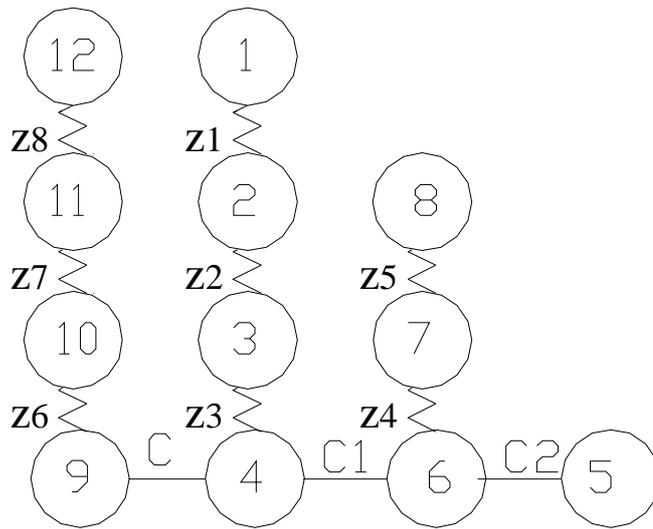


Рис. 4.4 Исходный граф ТП

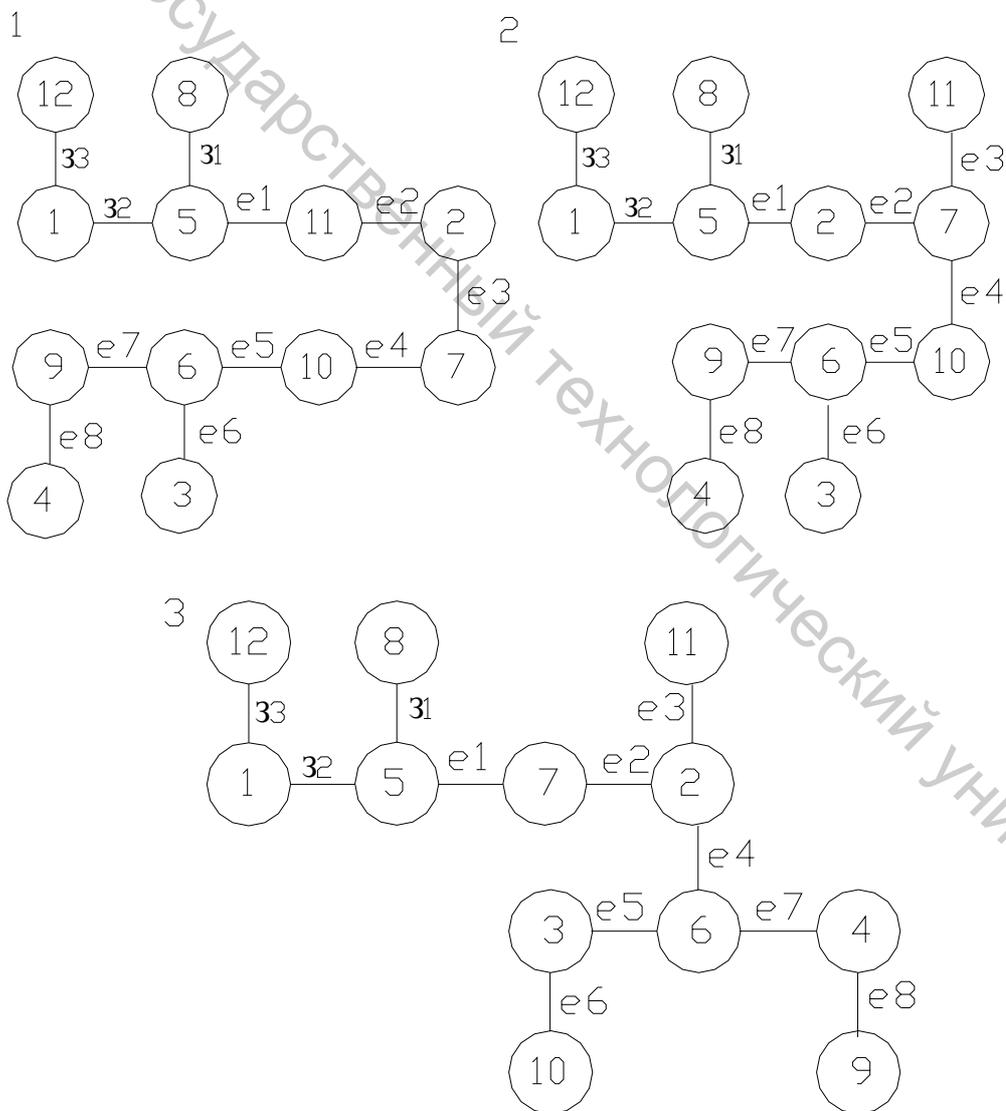


Рис.4.5. Производные графы ТП

Таблица 4.3.

## Уравнения размерных цепей вариантов ТП

1	2	3
$C=e8$	$C=e8$	$C=e8$
$C1=e8-e7$	$C1=e8-e7$	$C1=e7$
$C2=e1-e2+e3-e5$	$C2=-e1+e2+e4-e5$	$C2=e1-e2+e4$
$Z1=32+e1-e2$	$Z1=32-e1$	$Z1=32+e1-e2$
$Z2=e3+e4-e5-e6$	$Z2=e2+e4-e5-e6$	$Z2=e4-e5$
$Z3=e6+e7-e8$	$Z3=e6+e7-e8$	$Z3=e5-e7$
$Z4=e5-e4$	$Z4=e5-e4$	$Z4=-e4+e2$
$Z5=-e3+e2-e1+31$	$Z5=-e2-e1+31$	$Z5=-e1+31$
$Z6=-e7+e5$	$Z6=-e7+e5$	$Z6=-e8+e7-e5+e6$
$Z7=-e4-e3+e2$	$Z7=-e4+e3$	$Z7=-e6+e5-e4+e3$
$Z8=-e1-32+33$	$Z8=-e3-e2-e1-32+33$	$Z8=-e3+e2-e1-32+33$

2. Сформировать графы размерных связей и графы угловых расположений обрабатываемых поверхностей по отношению к обрабатываемым поверхностям и угловых расположений обрабатываемых поверхностей по отношению к необрабатываемым для каждого этапа. На рис. 4.7.–4.9 представлены модели заготовки (для детали изображенной на рис. 3.7) на этапах типовой схемы обработки и указанные графы. Индексы в буквенных обозначениях соответствуют з- заготовка, п- предварительный этап, ч- чистовой, о- отделочный.

На графах двойной окружностью обозначаются необрабатываемые (исходные) поверхности этапа. Для отверстий и наружных цилиндрических поверхностей на графе отмечены только их оси, так как именно они участвуют в образовании комплектов технологических баз ориентации.

3. Определить всевозможные комплекты проектных технологических баз ориентации этапа. Эти комплекты определяются с помощью совместного анализа указанных выше графов размерных связей и угловых расположений поверхностей.

Возможные комплекты ТБ для обработки поверхностей представлены в таблицах на рисунках 4.7.–4.9. Таблицы формируются следующим образом. Номер обрабатываемой поверхности (или оси обрабатываемой поверхности) отыскивается на графе (по одной оси для плоской поверхности, по двум координатным осям для оси) размерных связей. Определяется ее связь или связи с другими ближайшими поверхностями на графах размерных связей. (Кратчайшие пути на графе от рассматриваемой поверхности до других поверхностей). Далее для плоских поверхностей на графах угловых расположе-



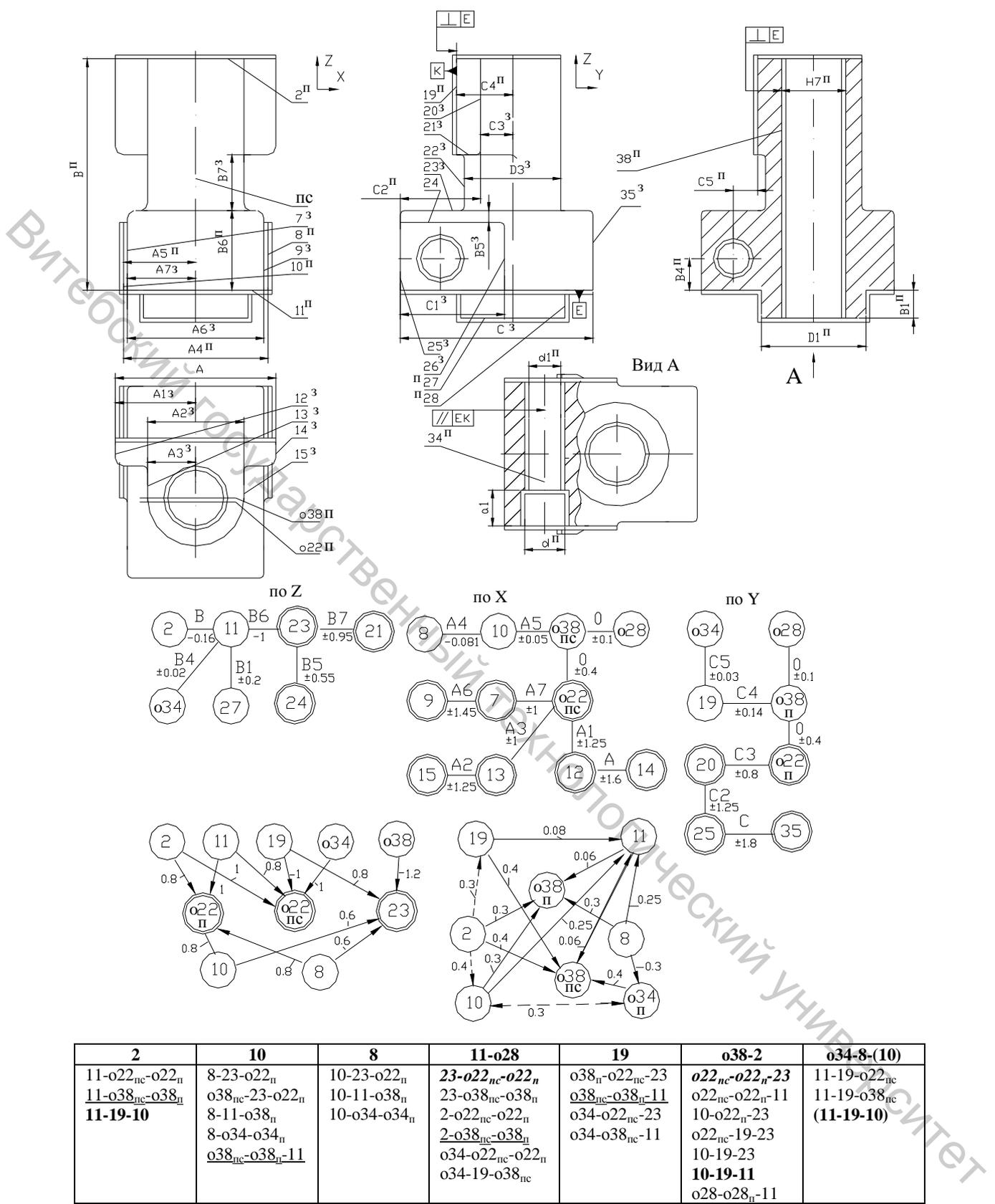


Рис. 4.7. Модель заготовки, соответствующие графы и таблица комплектов баз на предварительном этапе

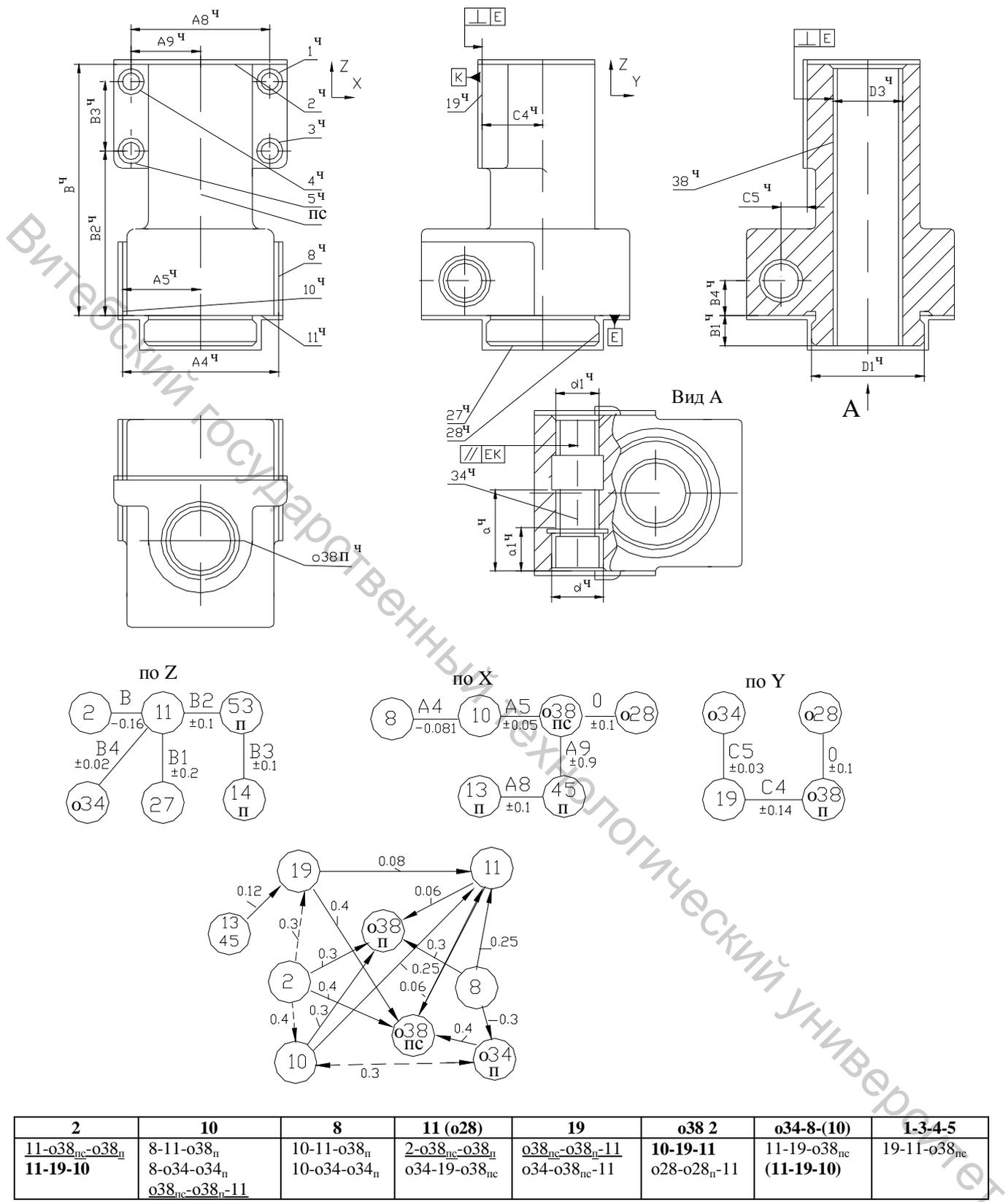


Рис. 4.8. Модель заготовки, соответствующие графы и таблица комплектов баз на чистовом этапе



### 4.3. Определение порядка обработки поверхностей и смены баз внутри этапов типовой схемы обработки

Определение порядка обработки поверхностей и смены баз внутри этапов типовой схемы обработки корпусных деталей предлагается осуществлять с помощью анализа комплектов баз ориентации поверхностей на этапе.

Анализ таблиц комплектов баз предполагает:

1. *Предварительное выделение одинаковых комплектов* для обработки разных конструктивных элементов (рис. 4.7. -4.9 курсив, выделение жирным, подчеркивание).

2. *Определение исходные ТБ для первой операции этапа.* Их правильный выбор позволяет обеспечить заданное чертежом относительное расположение обрабатываемых и исходных поверхностей этапа, а также обеспечить равномерность снятия припуска на поверхности. Для решения второй задачи в качестве комплекта баз на первой операции этапа принимаются именно те поверхности, на которых необходимо обеспечить равномерное распределение припуска.

Для решения первой задачи комплект ТБ на первой операции этапа должен состоять из поверхностей, обработанных на предыдущем этапе (или необрабатываемых вовсе для первой операции обработки) и необрабатываемых на данном этапе (исходные поверхности этапа). Для формального решения данной задачи в столбцах таблиц необходимо отыскать одинаковые комплекты, состоящие из исходных поверхностей этапов от которых можно обработать поверхности, которые могут служить базами для дальнейшей обработки.

Если исходных поверхностей нет (рис. 4.8), то в комплект баз на первой операции этапа отбираются поверхности служащие базами для задания допусков взаимного расположения, от которых можно обработать максимальное число поверхностей и получить комплект баз для обработки других поверхностей.

При определении комплектов баз необходимо определять поверхности, которые можно обработать от *настроечных* баз. Формально, это такие обрабатываемые поверхности в шапке таблицы комплектов, для которых имеется комплект баз, отличающийся одним (для плоской или двумя для оси) компонентом от комплекта другой поверхности и при подстановке этой поверхности в собственный комплект получается комплект баз идентичный другому комплекту. Настроечной базой будет являться замененная поверхность.

Таблицы исходных комплектов для рассматриваемой детали приведены в таблицах 5.10–5.12. Пусть проектируется операция для серийного произ-

водства с условием максимальной концентрации переходов. (Имеются широкоуниверсальные фрезерно-сверлильно-расточные станки с ЧПУ оснащенные поворотными столами). Тогда, например, на предварительном этапе рис. 4.7 имеется возможность за один установ от комплекта баз  $23\ o22_{\text{пс}}\ o22_{\text{п}}$  обработать одновременно поверхности  $o38\ 2\ 11\ o28$  (таблица 4.4).

Определены поверхности, которые можно обработать от настроечных баз. Так для пов. 11 чистового этапа (табл. 4.5) исходный комплект –  $2\ o38_{\text{пс}}\ o38_{\text{п}}$ . При подстановке в него вместо поверхности 2 поверхность 11 мы получаем комплект  $11\ o38_{\text{пс}}\ o38_{\text{п}}$  идентичный комплекту для пов. 19. Настроечная база для обработки пов. 19 – пов. 11.

Таблица 4.4

Таблица исходных комплектов на предварительном этапе

2	10	8	11-o28	19	o38-2	o34-8-(10)
11-o22 <sub>пс</sub> -o22 <sub>п</sub>	8-23-o22 <sub>п</sub> o38 <sub>пс</sub> -23-o22 <sub>п</sub>	10-23-o22 <sub>п</sub>	<u>23-o22<sub>пс</sub>-o22<sub>п</sub></u> 23-o38 <sub>пс</sub> -o38 <sub>п</sub> 2-o22 <sub>пс</sub> -o22 <sub>п</sub>	o38 <sub>п</sub> -o22 <sub>пс</sub> -23 o34-o22 <sub>пс</sub> -23	<u>o22<sub>пс</sub>-o22<sub>п</sub>-23</u> o22 <sub>пс</sub> -o22 <sub>п</sub> -11 10-o22 <sub>п</sub> -23 o22 <sub>пс</sub> -19-23	11-19-o22 <sub>пс</sub>

Таблица 4.5

Таблица исходных комплектов на чистовом этапе

2	10	8	11 (o28)	19	o38 2	o34-8-(10)	1-3-4-5
<u>11-o38<sub>пс</sub>-o38<sub>п</sub></u> <b>11-19-10</b>	8-11-o38 <sub>п</sub> 8-o34-o34 <sub>п</sub> <u>o38<sub>пс</sub>-o38<sub>п</sub>-11</u>	10-11-o38 <sub>п</sub> 10-o34-o34 <sub>п</sub>	<u>2-o38<sub>пс</sub>-o38<sub>п</sub></u> o34-19-o38 <sub>пс</sub>	<u>o38<sub>пс</sub>-o38<sub>п</sub>-11</u> o34-o38 <sub>пс</sub> -11	10-19-11 o28-o28 <sub>п</sub> -11	11-19-o38 <sub>пс</sub> (11-19-10)	19-11-o38 <sub>пс</sub>

Таблица 4.6

Таблица исходных комплектов на отделочном этапе

8	10	11 o28	19	o38	o34-8-(10)
10-2-o38 <sub>п</sub> 10-11-o38 <sub>п</sub> 10-o34-o34 <sub>п</sub>	8-2-o38 <sub>п</sub> o38 <sub>пс</sub> -o38 <sub>п</sub> -2 8-11-o38 <sub>п</sub> o38 <sub>пс</sub> -o38 <sub>п</sub> -11 8-o34-o34 <sub>п</sub>	<u>2-o38<sub>пс</sub>-o38<sub>п</sub></u> o34- o38 <sub>пс</sub> -o38 <sub>пс</sub>	<u>o38<sub>п</sub>-2- o38<sub>пс</sub></u> o38 <sub>п</sub> - o38 <sub>пс</sub> -11 o34-o38 <sub>пс</sub> -2 o34-o38 <sub>пс</sub> -11	10-19-2 <i>10-19-11</i> <b>45<sub>п</sub> -19-2</b> o28-o28 <sub>п</sub> -11	11-19-o38 <sub>пс</sub> (11-19-10)

3. *Определение комплектов баз для обработки других поверхностей.* Для этого в столбцах «усеченных» таблиц комплектов отыскиваются одинаковые комплекты, состоящие из обработанных поверхностей. От этих комплектов также обрабатываются соответствующие поверхности. В том случае, если внутри этапа нельзя определить исходный комплект технологических баз для обработки той или иной поверхности из числа только обработанных поверхностей, то можно воспользоваться графом угловых расположений обрабатываемых поверхностей по отношению к необрабатываемым, учитывая, что эти поверхности можно использовать только как опорную или двойную опорную базы.

Для предварительного этапа от 11 о38<sub>пс</sub> о38<sub>п</sub> можно обработать 19, 10. И так далее (таблицы 4.7-4.12)

Таблица 4.7

Таблица комплектов для предварительного этапа после первого отсечения

10	8	19	о34-8-(10)	11 о38 2
8-11-о38 <sub>п</sub> 8-о34-о34 <sub>п</sub> о38 <sub>пс</sub> -о38 <sub>п</sub> -11	10-11-о38 <sub>п</sub> 10-о34-о34 <sub>п</sub>	о38 <sub>пс</sub> -о38 <sub>п</sub> -11 о34-о38 <sub>пс</sub> -11	11-19-о38 <sub>пс</sub> (11-19-10)	

Таблица 4.8

Таблица комплектов для предварительного этапа после второго отсечения

8	о34-8	10 19
10-11-о38 <sub>п</sub> 10-о34-о34 <sub>п</sub>	11-19-о38 <sub>пс</sub> 11-19-10	11 о38 2

Таблица 4.9

Таблица комплектов для чистового этапа после первого отсечения

2	10	8	о38 2	о34-8-(10)	1-3-4-5	11 19
11-о38 <sub>пс</sub> -о38 <sub>п</sub> 11-19-10	8-11-о38 <sub>п</sub> 8-о34-о34 <sub>п</sub> о38 <sub>пс</sub> -о38 <sub>п</sub> -11	10-11-о38 <sub>п</sub> 10-о34-о34 <sub>п</sub>	10-19-11 о28-о28 <sub>п</sub> -11	11-19-о38 <sub>пс</sub> (11-19-10)	19-11-о38 <sub>пс</sub>	

Таблица 4.10

Таблица комплектов для чистового этапа после второго отсечения

10	8	о34-8-(10)	1-3-4-5	о38 2 11 19
8-11-о38 <sub>п</sub> 8-о34-о34 <sub>п</sub> о38 <sub>пс</sub> -о38 <sub>п</sub> -11	10-11-о38 <sub>п</sub> 10-о34-о34 <sub>п</sub>	11-19-о38 <sub>пс</sub> (11-19-10)	19-11-о38 <sub>пс</sub>	

Таблица 4.11

Таблица комплектов для отделочного этапа после первого отсечения

8	10	о38	о34-8-(10)	11-19
10-11-о38 <sub>п</sub> 10-о34-о34 <sub>п</sub>	о38 <sub>пс</sub> -о38 <sub>п</sub> -2 8-11-о38 <sub>п</sub> о38 <sub>пс</sub> -о38 <sub>п</sub> -11 8-о34-о34 <sub>п</sub>	10-19-2 10-19-11 о28-о28 <sub>п</sub> -11	11-19-о38 <sub>пс</sub> (11-19-10)	

Таблица 4.12

Таблица комплектов для отделочного этапа после второго отсечения

8	10	о34-8-(10)	о38 11 19
10-11-о38 <sub>п</sub> 10-о34-о34 <sub>п</sub>	о38 <sub>пс</sub> -о38 <sub>п</sub> -2 8-11-о38 <sub>п</sub> о38 <sub>пс</sub> -о38 <sub>п</sub> -11 8-о34-о34 <sub>п</sub>	11-19-о38 <sub>пс</sub> (11-19-10)	

Для окончательного формального решения задачи синтеза маршрута обработки, выбора необходимого оборудования и распределения переходов каждого этапа по станкам необходим массив имеющегося оборудования, содержащий следующие сведения: 1. модель станка; 2. размеры рабо-

чей зоны; 3. технологические возможности станка (набор выполняемых на станке переходов и их параметров).

Для распределения переходов по станкам необходимо сопоставить характеристики комплекса поверхность-переход с технологическими возможностями станков, а габариты детали – с габаритами рабочего пространства станка.

На рисунке 4.10 показан алгоритм распределения переходов по типоразмерам станка, где  $i$  – порядковый номер перехода в этапе;  $N_{пр}$  – количество переходов в этапе;  $j$  – номер станка в массиве;  $N_{ст}$  – количество станков в массиве;  $q$  – номер отобранного станка.

Характеристика очередного перехода (b) формируется в блоке 2 для сравнения с возможностями  $j$ -го станка (блок 3). Если габариты заготовки (a) меньше или равны габаритам рабочей зоны станка (e) (блок 4), в массиве переходов  $j$ -го станка есть соответствующий переход (d), поверхность или сочетание поверхностей доступно для обработки ( $z1$ ) (поворотный стол, комбинированный инструмент) (блок 5) и данный станок уже ранее был отобран для другого перехода (блок 9), то в таблицу выбора записываются комплекты баз для обработки поверхности (блок 10) и рассматривается следующий станок. Если  $j$ -й станок ранее не отбирался (блок 9), то ему присваивается очередной номер  $q$ , который заносится в таблицу 4.11.

Так для  $i$ -го перехода рассматриваются все станки из массива (блоки 6, 13). Если для выполнения данного перехода нет соответствующего оборудования (блок 7), то этот переход записывается в отдельный список для принятия альтернативного решения (блок 12). Альтернативным решением может быть: приобретение необходимого оборудования, модернизация одного из имеющихся станков, замена данного перехода другим.

Из таблицы выбора 4.11. методом перебора всевозможных сочетаний станков (с учетом требования выбора баз на первой и последующих операциях этапа, идентичности комплектов баз, а также проверки возможности использования настроечных баз), необходимых для выполнения всех переходов, рассматриваемого этапа, выбирается минимальная номенклатура технологического оборудования.

Так согласно таблице 4.11 для выполнения девяти переходов достаточно двух станков: первого ( $g=1$ ) и четвертого ( $g=4$ ) Первому станку соответствуют переходы 1...3, 5, четвертому –4, 6...8. От комплекта баз 1 2 3 обрабатываются поверхности 10, 12, 23 7, а от комплекта 10 12 23 – 1, 2, 3, 9, 8.

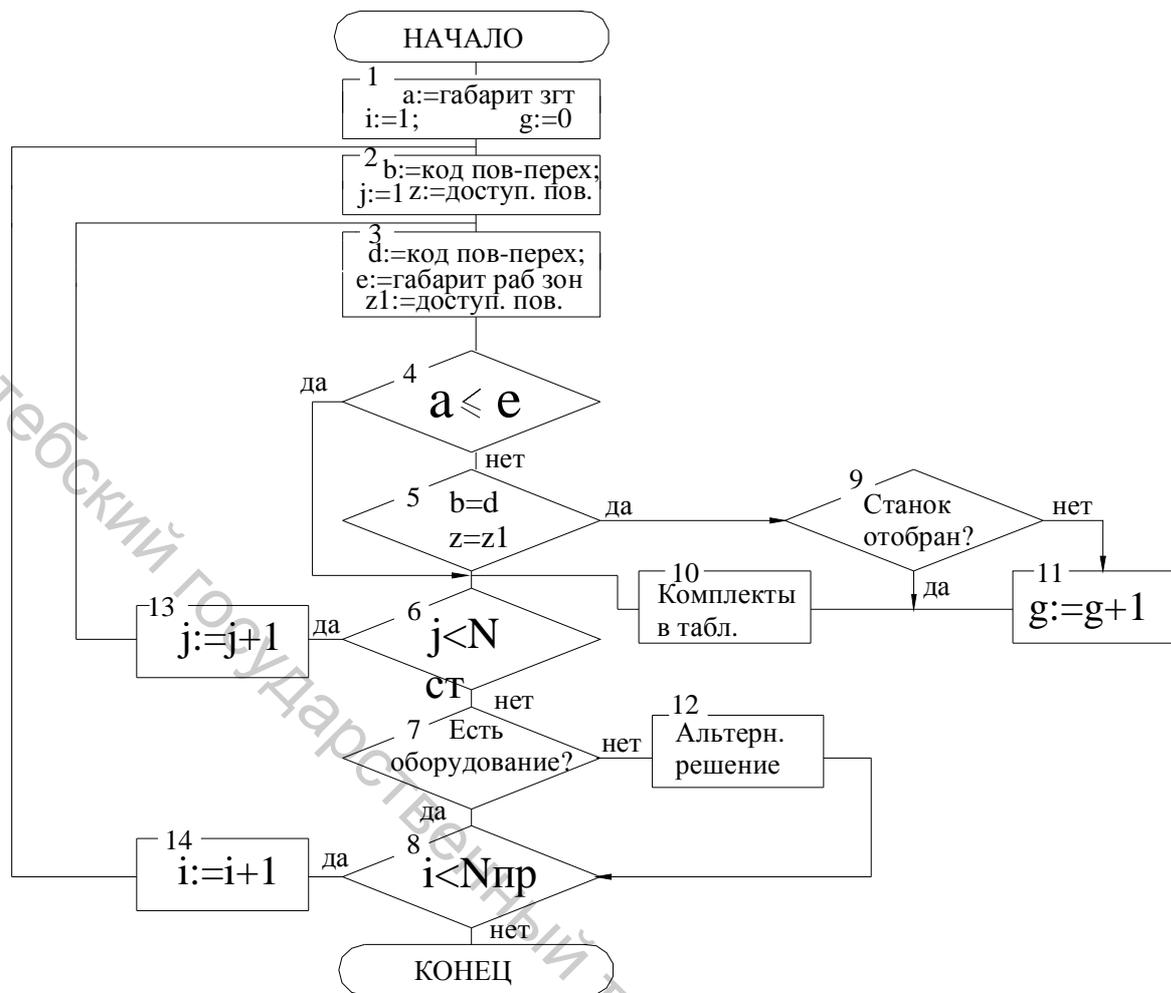


Рис. 4.10 Блок-схема распределения переходов по типоразмерам станка

Переходы с одинаковыми типоразмерами станков и технологических баз объединяются в группы, окончательно формируя тем самым маршрут обработки и операции. Однако необходима проверка возможности установки инструмента, т.е. наличие необходимого количества гнезд в револьверной головке или магазине станка.

С другой стороны, если для данного станка переходы не могут быть выполнены при использовании одного комплекта баз или за один установ, то в таких случаях принимается одно из следующих альтернативных решений: уменьшить число переходов в операции вплоть до одного (таким образом увеличивается число операций, выполняемых на одном и том же станке); выполнить операции за несколько последовательных установов в одной рабочей зоне; выполнить операции путем совмещения в одной рабочей зоне нескольких (1...4) рабочих позиций; применять комбинированный инструмент.

Таблица выбора оборудования

Поверхность- переход <i>i</i>	Номер станка <i>q</i>						
	1	2	3	4	5	6	...
10	<b>1 2 3</b> 4 5 6	<b>1 2 3</b> 4 5 6	<b>1 2 3</b> 4 5 6	<b>1 2 3</b> 4 5 6	0	0	...
12	<b>1 2 3</b> 10 11 13 14 15 16	0	0	0	1 2 3 10 11 13 14 15 16	0	...
23	<b>1 2 3</b> 10 21 13	<b>1 2 3</b> 10 21 13	0	0	0	0	...
1	0	0	<b><u>10 12 23</u></b> 43 23 44	<b><u>10 12 23</u></b> 43 23 44	0	0	...
7	<b>1 2 3</b> 43 23 44	0	<b>1 2 3</b> 43 23 44	0	<b>1 2 3</b> 43 23 44	0	...
2	0	0	0	<b><u>10 12 23</u></b> 23 43 21	0	<b><u>10 12 23</u></b> 23 43 21	...
3	<b><u>10 12 23</u></b> 45 32 12	0	0	<b><u>10 12 23</u></b> 45 32 12	0	0	...
8 9	0	0	0	<b><u>10 12 23</u></b> 4.5.6	0	0	...
...	...	...	...	...	...	...	...

Таким образом, после рассмотрения всех ранее отобранных вариантов структур операций, окончательный вариант можно осуществить на основе результатов технико-экономических расчетов.

Структура и порядок в операциях внестаночных переходов в своем большинстве случаев стандартизированы. Переходы термического и контрольного этапов и их выбор зависят от технических требований чертежа детали.

#### 4.4. Выводы по главе 4

1. развита типовая схема обработки заготовок корпусных деталей в станкостроении, позволяющая укрупнено представить технологический процесс в виде этапов (механической, термической, малярной и т.п.) обработки, определить, в зависимости от характера и точности, место переходов в ходе технологического процесса, а также упорядочить их (в первом приближении) во времени;

2. предложен метод совместного анализа графов размерных связей и графов угловых расположений поверхностей ФМ корпусных деталей, позволяющий формально *определить возможные комплекты проектных техноло-*

*гических баз ориентации для обрабатываемых элементов конструкции внутри этапов типовой схемы механической обработки;*

3. разработан метод формализованного синтеза маршрута обработки корпусной детали, который позволяет для корпусных деталей определять порядок смены комплектов баз и порядок обработки поверхностей внутри этапов типовой схемы механической обработки с учетом возможностей имеющегося оборудования.

Витебский государственный технологический университет

## ГЛАВА 5

### АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА И АНАЛИЗА СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ И УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

#### 5.1. Определение функций компонентов комплекта технологических баз ориентации

Для определения функций компонентов комплекта технологических баз ориентации (синтеза схемы базирования) следует пользоваться следующими утверждениями.

##### **Утверждение 1.**

*Схема базирования в первую очередь должна обеспечить заданную точность взаимного расположения, а затем точность размеров (расстояний).*

##### **Утверждение 2.**

*Технологическими базами могут быть назначены только те компоненты геометрической модели заготовки, от которых заданы расстояния (размеры) до обработанных поверхностей и по отношению к которым заданы показатели расположения (перпендикулярности, параллельности, угла) обработанной поверхности.*

##### **Утверждение 3.**

*Та технологическая база, по отношению к которой удельный допуск взаимного расположения или расстояний более жесткий, должна накладывать больше связей. Под удельным допуском понимается допуск взаимного расположения, приведенный к одной базовой длине.*

##### **Утверждение 4.**

*Точность взаимного (углового) расположения обеспечивают только тройная однонаправленная (установочная), двойная однонаправленная (направляющая) и четверная (двойная направляющая) базы, а также сочетания двойной разнонаправленной) двойной опорной и одиночной (опорной) баз и тройной разнонаправленной (тройной опорной) и одиночной (опорной) баз.*

##### **Утверждение 5.**

*При определении вида компонента комплекта баз (числа накладываемых связей) самым важным показателем взаимного расположения является перпендикулярность, затем угол, затем параллельность. То есть база, обеспечивающая перпендикулярность, должна накладывать больше связей, чем та, которая для этой же операции обеспечивает угол или параллельность.*

Разработан массив продукционных моделей для назначения вида компонентов комплекта технологических баз и массив примеров состоящий из 62 алгоритмов, соответствующих правилам однозначного и корректного задания ориентации оси или плоскости относительно комплектов баз.

Например, алгоритм O10 гласит: если существует комплект технологических баз, состоящий из трех взаимно перпендикулярных плоскостей  $P_i \perp P_j \perp P_k$  и задан допуск перпендикулярности главной оси ФМ относительно плоскости  $P_i$ , а допуск перпендикулярности относительно  $P_{j(k)}$  меньше допуска линейного размера относительно  $P_{k(j)}$ , то плоскость  $P_i$  назначается установочной базой, плоскость  $P_{j(k)}$  направляющей, плоскость  $P_{k(j)}$  опорной. Аналогично определяются компоненты комплекта, если задан допуск перпендикулярности относительно плоскости  $P_j$  либо плоскости  $P_k$  (рис. 5.1.).

Ниже в символическом виде приводятся фрагменты алгоритмов назначения вида компонентов комплекта технологических баз.

$$\exists(P_i \perp P_j \perp P_k) \wedge ((O_{10} \perp P_i) \vee (O_{10} \perp P_j) \vee (O_{10} \perp P_k))$$

$$T \perp O_{10} \rightarrow P_i \wedge TX(Z) < TZ(X) \Rightarrow P_i = \text{УСТ}; P_{j(k)} = \text{НАПР}; P_{k(j)} = \text{ОПР};$$

$$T \perp O_{10} \rightarrow P_j \wedge TY(Z) < TZ(Y) \Rightarrow P_j = \text{УСТ}; P_{i(k)} = \text{НАПР}; P_{k(i)} = \text{ОПР};$$

$$T \perp O_{10} \rightarrow P_k \wedge TX(Y) < TY(X) \Rightarrow P_k = \text{УСТ}; P_{j(i)} = \text{НАПР}; P_{i(j)} = \text{ОПР};$$

где:  $T \perp O_{10}$ ,  $TX$ ,  $TY$ ,  $TZ$  – численное значение допусков относительных поворотов и линейных размеров;  $УСТ$ ,  $НАП$ ,  $ОПР$  – вид компонентов комплекта технологических баз.

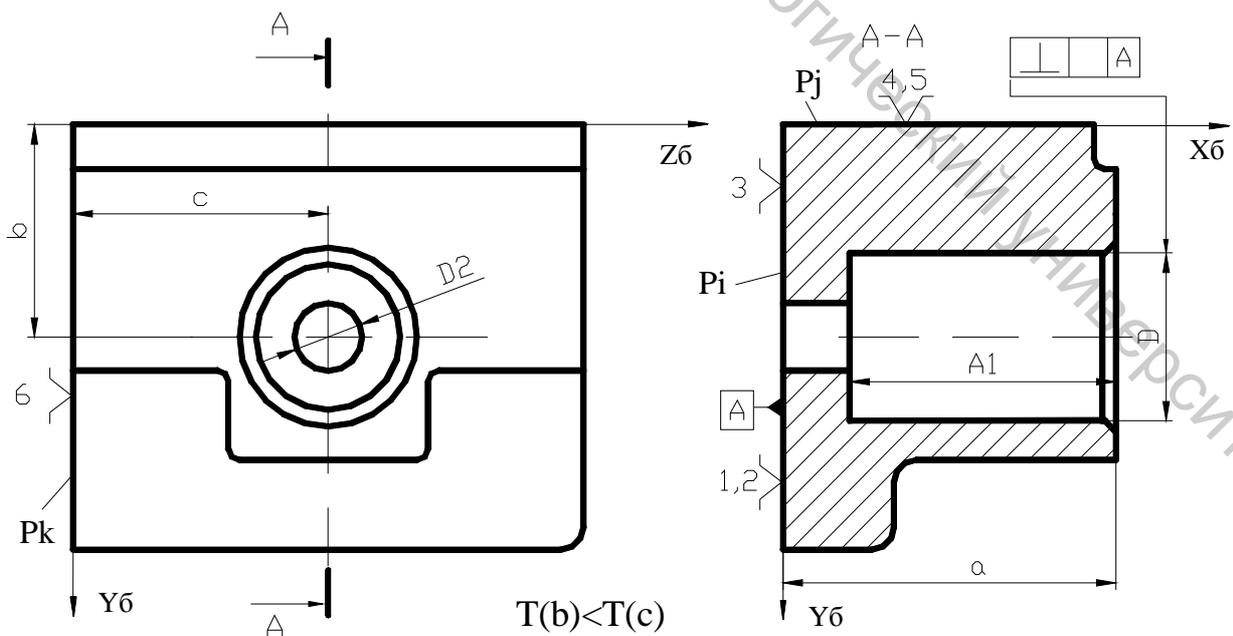


Рис.5.1. Пример назначения вида компонентов комплекта технологических баз по правилу O10

Алгоритм O11 гласит: если существует комплект технологических баз состоящий из трех взаимно перпендикулярных плоскостей  $P_i \perp P_j \perp P_k$  и заданы допуски параллельности главной оси ФМ  $O_{11}$  относительно плоскостей  $P_i$  и  $P_j$ , а численное значение допуска параллельности оси относительно плоскости  $P_{i(j)}$  меньше численного значения допуска параллельности оси относительно плоскости  $P_{j(i)}$ , то плоскость  $P_{i(j)}$  назначается установочной базой, плоскость  $P_{j(i)}$  направляющей, плоскость  $P_k$  опорной. Аналогично определяются компоненты комплекта если задан допуск параллельности оси относительно плоскостей  $P_i$  и  $P_k$ ,  $P_j$  и  $P_k$  (см. рис. 5.2.).

$$\begin{aligned} & \exists (P_i \perp P_j \perp P_k) \wedge ((O_{11} // P_i) \wedge (O_{11} // P_j)) \vee ((O_{11} // P_i) \wedge (O_{11} // P_k)) \vee ((O_{11} // P_j) \wedge (O_{11} // P_k)) \\ & T // O_{11} \rightarrow P_{i(j)} < T // O_{11} \rightarrow P_{j(i)} \Rightarrow P_{i(j)} = \text{УСТ}; P_{j(i)} = \text{НАПР}; P_k = \text{ОПР}; \\ & T // O_{11} \rightarrow P_{i(k)} < T // O_{11} \rightarrow P_{k(i)} \Rightarrow P_{i(k)} = \text{УСТ}; P_{k(i)} = \text{НАПР}; P_j = \text{ОПР}; \\ & T // O_{11} \rightarrow P_{j(k)} < T // O_{11} \rightarrow P_{k(j)} \Rightarrow P_{j(k)} = \text{УСТ}; P_{k(j)} = \text{НАПР}; P_i = \text{ОПР}. \end{aligned}$$

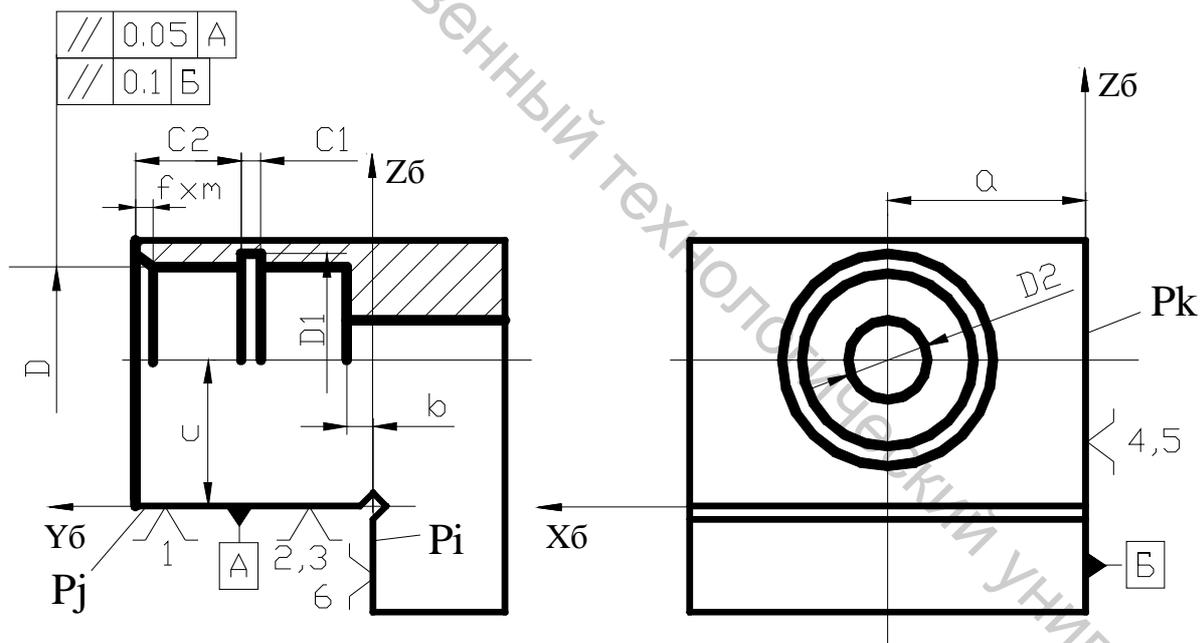


Рис.5.2. Пример назначения вида компонентов комплекта технологических баз по правилу O11

Алгоритм O21 гласит: если существует комплект технологических баз состоящий из двух взаимно перпендикулярных плоскостей  $P_i \perp P_j$  и оси  $(O_1 \perp P_j) \wedge (O_1 // P_i)$  перпендикулярной одной из них (параллельной другой) и задан допуск перпендикулярности главной обрабатываемой оси  $O_{21}$  относительно плоскости  $P_i$ , а допуск линейного размера относительно  $P_j$  меньше допуска линейного размера относительно  $O_1$ , то плоскость  $P_i$  назначается установочной базой, плоскость  $P_j$  направляющей, ось  $O_1$  опорной. Если допуск

линейного размера относительно  $P_j$  больше допуска линейного размера относительно  $O_1$ , то плоскость  $P_i$  назначается установочной базой, ось  $O_1$  направляющей, плоскость  $P_j$  опорной базами. В частном случае, если плоскость  $P_i$  совпадает с осью  $O_1$ , то ось  $O_1$  назначается двойной направляющей, базой плоскости  $P_i$  и  $P_j$  назначаются опорными базами (см. рис. 5.3.)

$$\exists(P_i \perp P_j) \wedge ((O_1 \perp P_j) \wedge (O_1 // P_i)) \wedge (O_{21} \perp P_i)$$

$$T \perp O_{21} \rightarrow P_i \quad TX(P_j) < TY(O_1) \Rightarrow P_i = \text{УСТ}; P_j = \text{НАПР}; O_1 = \text{ОПР};$$

$$T \perp O_{21} \rightarrow P_i \quad TX(P_j) > TY(O_1) \Rightarrow P_i = \text{УСТ}; O_1 = \text{НАПР}; P_j = \text{ОПР};$$

$$T \perp O_{21} \rightarrow P_i \wedge O_{20} \subset P_i \Rightarrow O_1 = \text{ДВНАПР}; P_j = \text{ОПР}; P_i = \text{ОПР}.$$

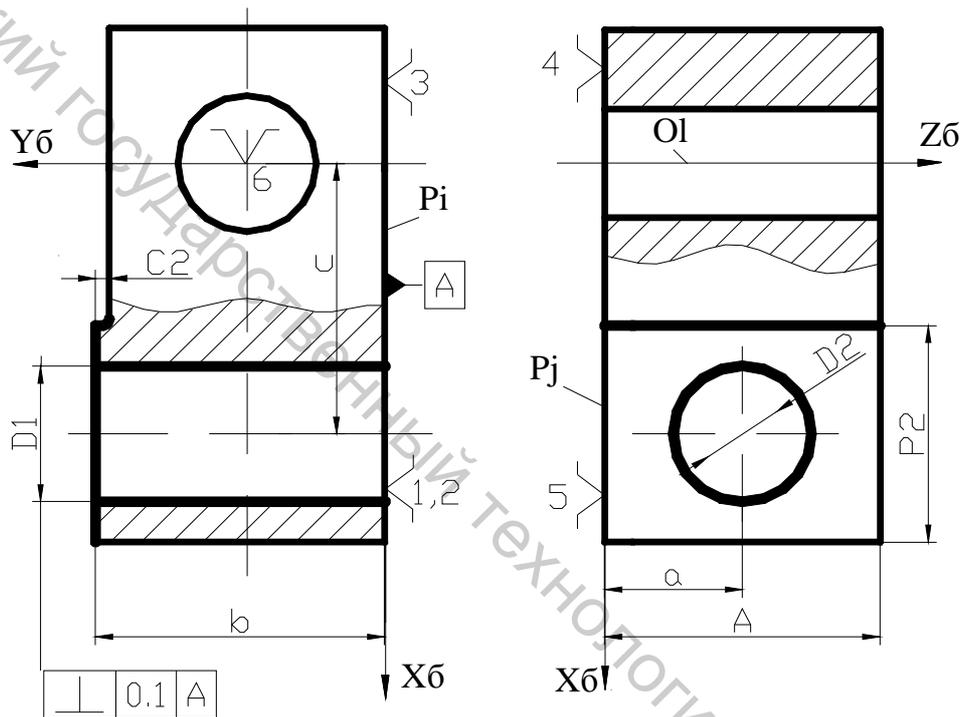


Рис.5.3. Пример назначения вида компонентов комплекта технологических баз по правилу O21

Алгоритм П 34 гласит: если заданы допуски перпендикулярности плоскости  $\Pi_{34}$  относительно плоскости  $P_i$  и углового расположения относительно плоскости  $\{O_1O_n\}$  и численное значение допуска перпендикулярности относительно  $P_i$  меньше численного значения допуска углового расположения относительно  $\{O_1O_n\}$ , то плоскость  $P_i$  назначается установочной базой, одна из осей, от которой задан размер, – двойной опорной, вторая – опорной. Если численное значение допуска перпендикулярности относительно  $P_i$  больше численного значения допуска углового расположения относительно  $\{O_1O_n\}$ , то плоскость  $\{O_1O_n\}$  назначается установочной базой,  $P_i$  – направляющей, одна из осей, от которой задан размер, – опорной (глава 2; рис. 2.8).

Или в символьном виде:

$$\exists (O_1 \perp P_i \wedge O_n \perp P_i) \wedge (\Pi_{34} \angle \{O_1 O_n\} \wedge \Pi_{34} \perp P_i)$$

$$T \perp \Pi_{34} \rightarrow \{O_1 O_n\} > T \perp \Pi_{34} \rightarrow P_i \Rightarrow P_i = \text{УСТ}; O_{1(n)} = \text{ДВОПР}; O_{n(l)} = \text{ОПР};$$

$$T \perp \Pi_{30} \rightarrow \{O_1 O_n\} < T \perp \Pi_{30} \rightarrow P_i \Rightarrow \{O_1 O_n\} = \text{УСТ}; P_i = \text{НАПР}; O_{n(l)} = \text{ОПР} \text{ и т.д.}$$

При использовании данной методики логика синтеза проектной базы заменяется логикой выбора, что не совсем удобно для человека, но легко реализуемо с помощью ЭВМ. Синтез схемы базирования «вручную» рекомендуется выполнять согласно приведенным ниже шагам.

**Первый шаг.** Построить геометрическую модель заготовки с выделением обрабатываемых поверхностей и указанием угловых и размерных связей, которые необходимо обеспечить на операции.

**Второй шаг.** Проверив правильность задания относительного расположения ФМ, согласно 62 правилам однозначности и корректности и выявив, если необходимо, неуказанные допуски относительного расположения (перпендикулярность, соосность, симметричность), определить комплект технологических баз ориентации (согласно утверждению 2 или алгоритмам главы 4).

**Третий шаг.** Сформировать базовую систему координат.

**Четвертый шаг.** Определить вид каждого из компонентов установленного комплекта баз (число налагаемых связей) согласно утверждениям 3, 4 и 5.

В качестве примера проведем обоснование схемы базирования, приведенной в главе 2 на рис. 2.8, согласно указанному выше алгоритму.

**Первый шаг.**

Обрабатываемая поверхность – плоскость, перпендикулярная плоскости А, расположенная под углом  $45^\circ \pm 20'$  к плоскости, проходящей через ось отверстия  $\varnothing 20^{+0,1}$  и ось скругления R10, и находящаяся на расстоянии  $30 \pm 0,2$  от оси отверстия  $\varnothing 20^{+0,1}$ .

**Второй шаг.** Согласно утверждению 2 комплект технологических баз будет состоять из плоскости А и двух перпендикулярных к ней осей (ось отверстия  $\varnothing 20^{+0,1}$  и ось скругления R10, что соответствует №3 в таблице 2.1). Расположение обрабатываемой плоскости согласно пункту П34 задано корректно и однозначно.

**Третий шаг.** Согласно таблице 1 строится базовая система координат.

**Четвертый шаг.** Согласно утверждениям 3, 4 и 5 плоскость А назначается установочной базой (обеспечивает перпендикулярность с максимальной точностью). Ось отверстия  $\varnothing 20^{+0,1}$  назначается двойной опорной базой, а ось скругления R10 – опорной.

В том случае, если относительно комплекта ориентируется несколько главных поверхностей ФМ, то вид компонента комплекта определяется с помощью ранжирования численных значений допусков по компонентам комплекта и последующего определения приоритета компонента (в зависимости от этого значения). Например, если относительно комплекта ТБ, состоящего из трёх взаимно перпендикулярных плоскостей, ориентируется две оси и заданное численное значение допуска перпендикулярности одной оси относительно одной плоскости меньше численного значения допуска перпендикулярности второй оси относительно второй плоскости, то первая плоскость назначается установочной базой, а вторая направляющей.

В таблице 5.1 представлена часть варианта технологического процесса для детали, рассматриваемой в главе 5 с указанием теоретических схем базирования, спроектированного с помощью рассмотренной методики.

Для поверхностей 10 и 19, детали рассмотренной в предыдущей главе, обрабатываемых на предварительном этапе комплектом баз является две плоскости и ось лежащая в одной из этих плоскостей (комплект №2). Допуск перпендикулярности поверхности 19 относительно 11 – 0.08 на длине 216 мм., а 19 относительно  $o38_{nc}$  – 0.4 на длине 282 мм., и допуск параллельности 19 относительно  $o38_n$  –  $\pm 0.14$  на длине 216мм. Допуск перпендикулярности поверхности 10 относительно 11 – 0.25 на длине 120, а 10 относительно  $o38_n$  – 0.3 на длине 180, и допуск параллельности 10 относительно  $o38_{nc}$  –  $\pm 0.05$  на длине 120. Если привести указанные допуски в заданном координатном направлении к одной длине, то согласно положению 4 получаем: 11 – установочная база,  $o38$  – двойная опорная, а  $o38_{nc}$  – опорная.

## 5.2. Метод структурного синтеза теоретической схемы установки

Для формализации синтеза схемы установки предлагается применить метод типовых технических решений (Тр), при реализации которого элементы схемы базирования заменяются соответствующими элементами схемы установки.

Анализ деятельности технологических бюро станкостроительных предприятий, ориентированных на проектирование технологических процессов механической обработки корпусных деталей машин, и литературных источ-



Таблица 5.2 (окончание)

030 Чистовой	035 Чистовой
040 Отделочный	045 Отделочный
050 Отделочный	...

ников показывает, что при проектировании схемы установки заготовок корпусных деталей машин в подавляющем большинстве случаев используется четыре варианта комплектов проектных технологических баз:

1. установочная, направляющая, опорная;
2. установочная, двойная опорная и опорная;
3. двойная направляющая, двойная опорная;
4. двойная направляющая, опорная и опорная.

Замена элемента схемы базирования элементом схемы установки предлагается осуществлять с помощью таблиц соответствия (элементы приведены в таблице 5.3.) и сокращения вариантов технических решений (элементы приведены в табл. 5.4).

Таблица 5.3.

Элементы таблицы соответствия установочного элемента  
технологической базе

Технологическая база	Элемент схемы установки	Код
Установочная	плоская поверхность корпуса	Гр1.1.
	две опорные пластины	Гр1.2.
	.....	Гр1....
Направляющая	опорная пластина	Гр2.1.
	две точечные сферические опоры	Гр2.2.
	.....	Гр2....
Опорная	сферическая опора	Гр3.1.
	опора с рифленой поверхностью	Гр3.2.
	.....	Гр3....
Двойная опорная	<u>Установочные</u>	
	призма	Гр4.1.
	палец цилиндрический	Гр4.2.
	.....	Гр4....
	<u>Установочно-зажимные</u>	
	трехкулачковый патрон	Гр4.7.
оправка цанговая	Гр4.8.	
.....	Гр4....	
Двойная направляющая	<u>Установочные</u>	
	длинная призма	Гр5.1.
	оправка цилиндрическая	Гр5.2.
	.....	Гр5....
	<u>Установочно-зажимные</u>	
	оправка цанговая	Гр5.6.
	втулка гидропластовая	Гр5.7.
.....	Гр5....	

Следует отметить, что в ГОСТ 3.1107-81 (СТ СЭВ 1803-79) отсутствует обозначение некоторых современных опор, зажимов и установочных уст-

ройств. Так, например, в ГОСТ нет обозначений для магнитной плиты, клиновых оправок, оправок с тарельчатыми пружинами, клиноплунжерных оправок, втулок, полувтулок и др. В работе предложены их обозначения.

Для реализации метода синтеза технических решений необходимо отобрать варианты установочных компонентов для реализации проектных баз комплекта ТБ. Выбранные компоненты заносятся в морфологическую таблицу, столбцы которой соответствуют функциям реализации той или иной технологической базы и закрепления, а строки – вариантам функциональных компонентов. Для комплекта проектных технологических баз – установочная, направляющая, опорная, абстрактная морфологическая таблица будет иметь вид, представленный в таблице 5.5. . Здесь Ф1, Ф2, Ф3– функции наложения определенного числа связей.

При выборе вариантов технических решений, заносимых в морфологическую таблицу, с помощью таблицы сокращения вариантов учитываются следующие ограничения: тип производства, габариты и масса обрабатываемой детали, показатели качества базы, поверхность базирования (наружная, внутренняя), тип поверхности, характер базы (явная, скрытая), вид обработки (отделочная, чистовая, предварительная).

Таблица 5.4

Элементы таблицы сокращения вариантов

База	Код	Тип производства					Габариты и масса обрабатываемой детали				...
		е	МС	с	КС	М	М	с	К	ОК	...
Установочная	Тр 1.1	х	х	х			х	х			...
	Тр 1.2	х	х	х	х	х		х	х	х	...
	Тр 1.3	х	х	х	х	х		х	х	х	...
	...										...
Направляющая	Тр 2.1	х	х	х			х	х			...
	Тр 2.2	х	х	х	х			х	х	х	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Окончательно решение о выборе необходимого набора компонентов может быть принято с помощью интегральных показателей сложности состава компонентов схемы установки на основе коэффициентов сложности (стоимости) установочных, установочно-зажимных компонентов. Разработаны ориентировочные таблицы сложности тех или иных установочных компонентов в зависимости от габаритных размеров. Данные таблицы построены на основе анализа прайс-листов на оснастку некоторых предприятий, а также на основе работы ряда инструментальных цехов машиностроительных пред-

приятый города Витебска и Орши и могут быть скорректированы в зависимости от реальных условий работы предприятия.

Таблица 5.5

Морфологическая таблица

<b>Ф1</b>	<b>Ф2</b>	<b>Ф3</b>
Тр 1.1.	Тр 2.1.	Тр 3.1.
Тр 1.2.	Тр 2.2.	Тр 3.2.
.....	.....	.....
Тр 1.i.	Тр 2.j.	Тр 3.k.

Если в морфологической таблице число сочетаний компонентов невелико, (до 20) и проектирование проводится без помощи ЭВМ, то выбор наилучшего варианта комплекта возможен путем полного перебора сочетаний компонентов.

В противном случае число рассматриваемых вариантов уменьшается методом отбора по столбцам, а именно способом сокращения числа рассматриваемых вариантов путем исключения наихудших комбинаций.

Для реализации способа сокращения числа рассматриваемых вариантов путем исключения наихудших комбинаций необходимо из морфологической таблицы выбрать два столбца (из первых трех) с наименьшим количеством вариантов технических решений ( $i < k < j$ ) и образовать из них все возможные

Таблица 5.6.

Таблица парных комбинаций

	<b>Тр 3.1.</b>	<b>Тр 3.2.</b>	<b>...</b>	<b>Тр 3.k.</b>
<b>Тр 1.1.</b>	<u>Тр11,31</u>	Тр11,32	Тр11,...	Тр11,3k
<b>Тр 1.2.</b>	Тр12,31	<u>Тр12,32</u>	Тр12,...	Тр12,3k
<b>...</b>	Тр...,31	Тр...,32	...	Тр...,3k
<b>Тр 1.i.</b>	Тр1i,31	Тр1i,32	Тр1i,...	Тр1i,3k

парные комбинации (таблица 5.6.).

Сравнительный анализ этих комбинаций позволяет две-три из них (например, подчеркнутые) отнести к наилучшим и включить в дальнейшее рассмотрение, а остальные – исключить.

Из исходной таблицы выбирается следующий столбец с наименьшим из оставшихся числом вариантов технических решений и составляется из них и отобранных парных комбинаций все возможные тройные комбинации. Сравнительный анализ позволит выделить и отбросить неэффективные сочетания и оставить те, которые имеют максимальную эффективность. В конце концов, остается некоторое множество комбинаций, которое сокращается до одного-двух технических решений.

Направление силы зажима (в случае применения компонентов, не имеющих зажимных элементов) определяется в направлении технологической базы, накладывающей наибольшее количество связей. В случае применения призмы и компонента реализующего опорную базу (за исключением самоцентрирующего компонента) возможно направлять силу зажима на этот

компонент. Причем этот компонент располагается на максимальном удалении от оси технологической базы.

*Таким образом формируется задание на проектирование конструкции приспособления.*

Для примера рассмотрим проектирование теоретических схем установки для обработки рассматриваемой заготовки на предварительных операциях 005 и 015. Схема базирования заготовки на операции 005 состоит из комплекта: двойная направляющая, опорная, опорная базы, и при этом: тип производства – серийный, габариты и масса обрабатываемой детали – средние, базы – необработанные. Базирование для всех баз – по наружной поверхности, характер баз – две явные, одна скрытая предварительная обработка.

Схема базирования заготовки на операции 015 состоит из комплекта: установочная, направляющая, опорная базы, и при этом: тип производства – серийный, габариты и масса обрабатываемой детали – средние, базы – обработанные, базирование для всех баз – по наружной поверхности, характер баз – явные, предварительная обработка.

С помощью таблиц соответствия и сокращения вариантов отбираются приемлемые технические решения и заносятся в морфологические таблицы 5.7.–5.8.

Далее определяются все возможные сочетания компонентов и с помощью коэффициентов сложности посчитаны интегральные коэффициенты сложности схемы установки (табл. 5.9).

Так, например, для операции 005 определены наилучшие (подчеркнутые) варианты сочетаний установочных компонентов заданной операции. Рекомендуемые схемы установки, соответствующие схемам базирования на операциях 005 и 015 приведены в таблице 5.10.

Таблица 5.7.

Отобранные с помощью таблицы сокращения вариантов  
компоненты схемы установки для операции 005

<b>База</b>	<b>Установочный компонент</b>	<b>Код</b>
Двойная направляющая	<i>Двойная призма</i>	Тр 5.10.
Опорная	<i>Опора точечная неподвижные с плоской поверхностью</i>	Тр 3.1.
	<i>Опора точечная неподвижные с рифленой поверхностью</i>	Тр 3.3.
	<i>Опора плавающая с плоской поверхностью</i>	Тр 3.4.
	<i>Опора плавающая с рифленой поверхностью</i>	Тр 3.6.
Опорная	<i>Опора точечная неподвижная с плоской поверхностью</i>	Тр 3.1.
	<i>Опора точечная неподвижные с рифленой поверхностью</i>	Тр 3.3.
	<i>Зажим самоцентрирующийся</i>	Тр 3.9.

Таблица 5.8.

Отобранные с помощью таблицы сокращения вариантов  
компоненты схемы установки для операции 015

База	Установочный компонент	Код
Установочная	Две опорные пластины	Тр 1.2.
	Три опоры точечные неподвижные с плоской поверхностью	Тр 1.3.
Направляющая	Опорная пластина	Тр 2.2.
	Две опоры точечные неподвижные с плоской поверхностью	Тр 2.3.
Опорная	Опора точечная неподвижная с плоской поверхностью	Тр 3.1.
	Палец цилиндрический	Тр 3.8.

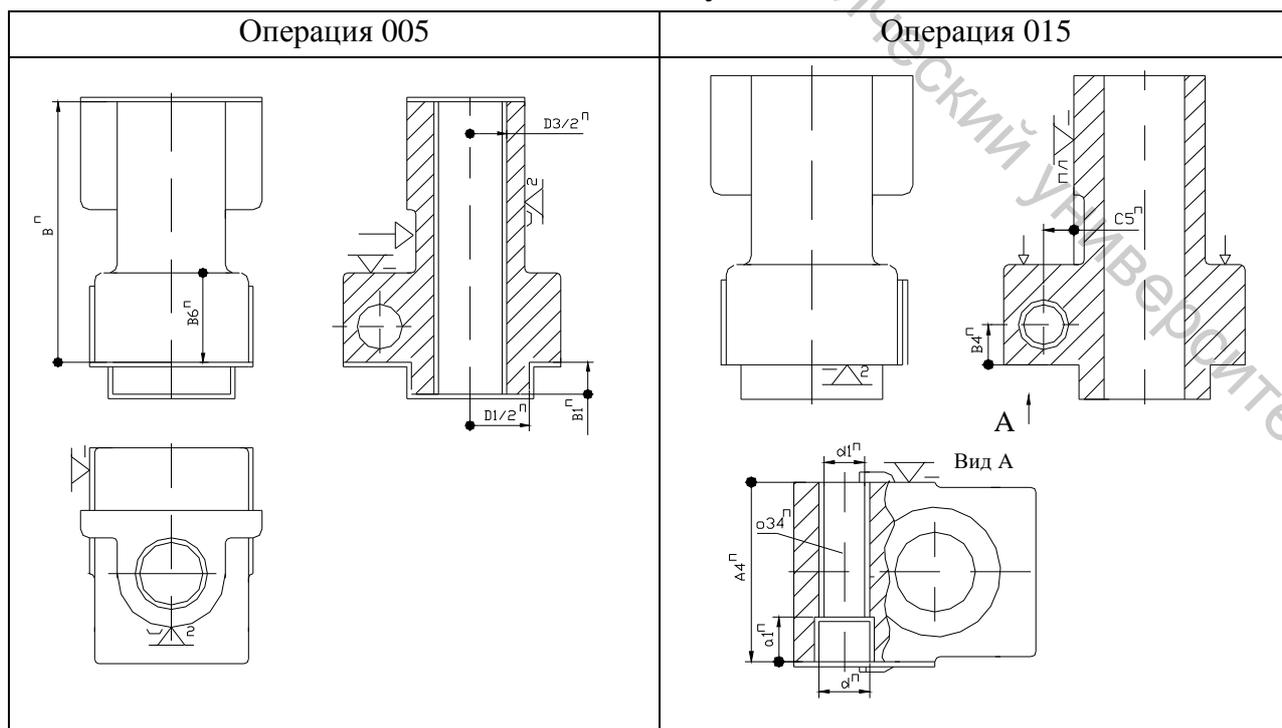
Таблица 5.9

Определение интегрального коэффициента сложности

Технические решения					Весовые коэффициенты					Сумма		
Тр 5.10.	+	Тр 3.1.	+	Тр 3.1.	=	2.58	+	0.6	+	0.6	=	<u>3.78</u>
Тр 5.10.	+	Тр 3.1.	+	Тр 3.3.	=	2.58	+	0.6	+	0.7	=	<u>3.88</u>
Тр 5.10.	+	Тр 3.1.	+	Тр 3.9.	=	2.58	+	0.6	+	20	=	23.18
Тр 5.10.	+	Тр 3.3.	+	Тр 3.1.	=	2.58	+	0.7	+	0.6	=	<u>3.88</u>
Тр 5.10.	+	Тр 3.3.	+	Тр 3.3.	=	2.58	+	0.7	+	0.7	=	3.98
Тр 5.10.	+	Тр 3.3.	+	Тр 3.9.	=	2.58	+	0.7	+	20	=	23.28
Тр 5.10.	+	Тр 3.4.	+	Тр 3.1.	=	2.58	+	1	+	0.6	=	4.18
Тр 5.10.	+	Тр 3.4.	+	Тр 3.3.	=	2.58	+	1	+	0.7	=	4.28
Тр 5.10.	+	Тр 3.4.	+	Тр 3.9.	=	2.58	+	1	+	20	=	23.58
Тр 5.10.	+	Тр 3.6.	+	Тр 3.1.	=	2.58	+	1.8	+	0.6	=	4.98
Тр 5.10.	+	Тр 3.6.	+	Тр 3.3.	=	2.58	+	1.8	+	0.7	=	5.08
Тр 5.10.	+	Тр 3.6.	+	Тр 3.9.	=	2.58	+	1.8	+	20	=	24.38

Таблица 5.10

Соответствующие схемам базирования на операциях  
005 и 015 схемы установки



При базировании выверкой по разметке (применяется для корпусных деталей в единичном и мелкосерийном производстве, а также при обработке крупногабаритных тяжелых заготовок) необходимо определить базы разметки. Однако каких-либо правил определения баз для разметки нет. Поэтому часто принятие решений о базах разметки основано на личном опыте и интуиции проектировщика. Базы для разметки на чертежах детали обозначаются в виде ромба.

Предлагается *теоретические схемы баз разметки* определять с помощью правил определения комплектов баз на первой операции этапа по методике синтеза маршрута обработки заготовки (на основании анализа графов размерных связей и графов угловых расположений обрабатываемых поверхностей по отношению к необрабатываемым). «Вид компонента комплекта» определяется согласно рассмотренной выше методике определения вида компонента комплекта в зависимости от точности ориентации той или иной обрабатываемой поверхности относительно комплекта исходных баз.

*Схема рисок разметки* и порядок разметки поверхностей определяется по методике определения смены баз. В данном случае необходимость в определении вида компонента (установочная, направляющая, опорная и т.д.) баз отпадает. Поверхности, размеченные от баз разметки, являются *настроечными базами* для разметки других поверхностей.

На этапе *установки заготовки на станке* достигается требуемая точность статической настройки системы СПИД при размерной настройке инструмента по разметочным рискам.

Предлагается считать разметку условно первой операцией механической обработки. Тогда комплект технологических баз для нанесения линий и точек разметки можно определять по описанной выше методике.

### **5.3. Методика оценки допустимости схемы установки.**

Для *анализа пригодности принятой схемы установки* нужно оценить значение ее погрешности (глава 2). Однако очень часто погрешность схемы установки зависит не от одного, а от нескольких размеров (*многозвенная размерная цепь*). В таких случаях предлагается решение задачи определения погрешности схемы установки проводить согласно следующим этапам:

- 1) на операционном эскизе указываются все выполненные ранее и выполняемые на рассматриваемой операции размеры, СКО и УСК, а также размеры настройки (рис. 5.4-а);
- 2) строится размерная цепь (рис. 5.4-б);

3) определяется погрешность замыкающего звена, которым является выполняемый размер. При этом погрешность настроечного размера  $A_n$  считается равной нулю, так как она, оставаясь постоянной для всей партии обрабатываемых деталей, не может быть источником случайной погрешности.

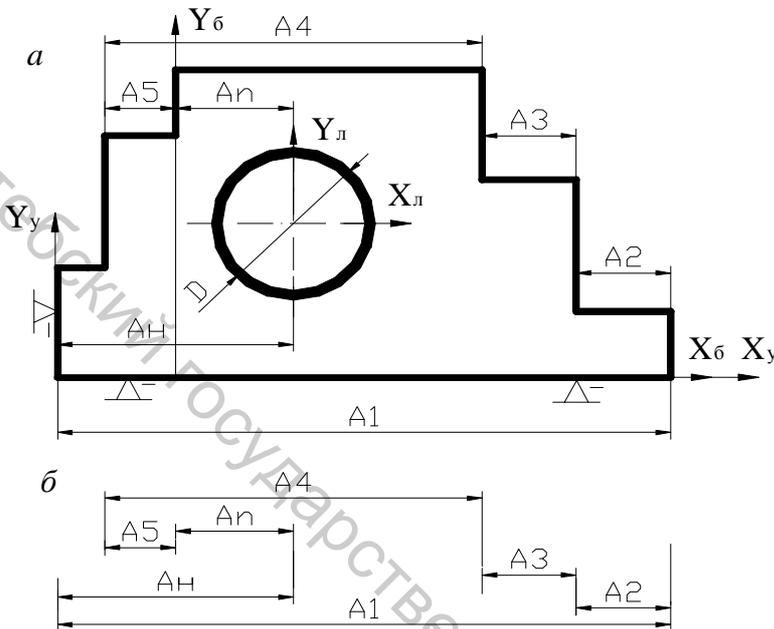


Рис. 5.4. Расчетная схема и размерная цепь

Максимально возможное (но весьма маловероятное) значение погрешности схемы установки определяется по формуле

$$\Delta_{cy}(A_n) = \sum_{i=1}^{n-1} TA_i$$

где  $n$  -- число звеньев размерной цепи.

Из математической статистики известно, что при заданной доверительной вероятности

$P$  поле рассеяния случайной величины (в нашем случае погрешность звена размерной цепи  $A_i$ ) связано со стандартным отклонением, а следовательно, и с дисперсией  $D_i$  следующим равенством:  $TA_i = I_i \sqrt{D_i}$ , где  $I_i$  -- коэффициент, зависящий от закона распределения рассматриваемого звена и доверительной вероятности  $P$ . С другой стороны, известно, что если случайная величина является алгебраической суммой других случайных величин, то дисперсия суммы равна сумме дисперсий слагаемых. На этом основании можно записать для линейной размерной цепи:

$$\Delta_{cy}(A_n) = I_n \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (TA_i / I_i)^2}$$

где  $I_i$  для нормального закона распределения равен 3, а для закона равной вероятности -- 1,732.

Последним выражением предлагается пользоваться при  $n > 3$  (если погрешности составляющих звеньев распределены по нормальному закону) и при  $n > 6$  (если погрешности составляющих звеньев распределены по закону равной вероятности).

Для случая, показанного на рис. 5.4, можно записать

$$\Delta_{cy}(A_n) = \sqrt{TA_1^2 + TA_2^2 + TA_3^2 + TA_4^2 + TA_5^2}$$

Погрешность схемы установки для *плоской размерной цепи* определяется так же, как и для многозвенной линейной цепи. Отличие состоит только в том, что все звенья плоской размерной цепи необходимо спроектировать на направление вектора замыкающего звена. Например, размерная цепь для схемы, показанной на рис. 5.5-а, изображена на рис. 5.5-б. Размерная настройка в данном случае осуществляется от начала УСК. Проектируя звенья размерной цепи на  $A_n$ , получаем

$$A_n - B_1 \sin a - A_1 \cos a - A_n = 0.$$

тогда

$$\Delta_{cy}(A_n) = TB_1 \sin a + TA_1 \cos a$$

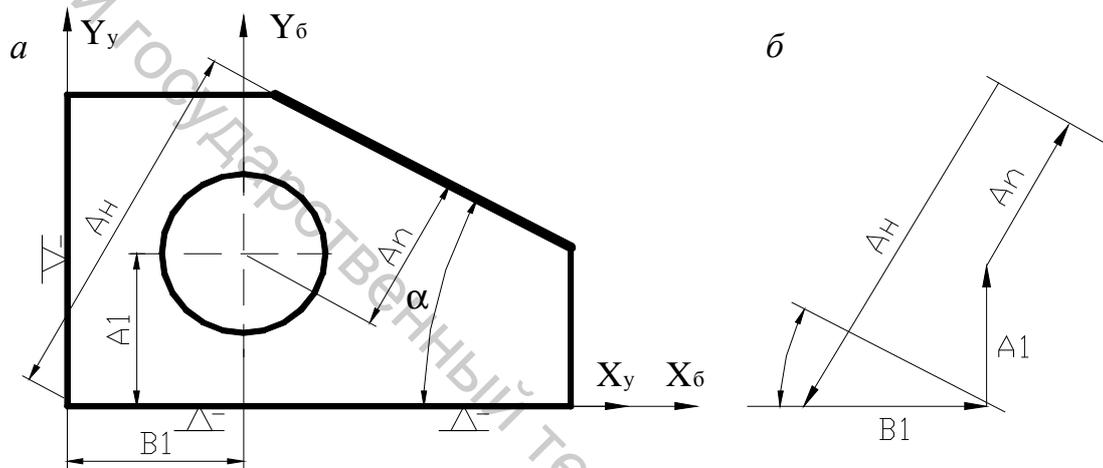


Рис. 5.5. Расчетная схема и плоская размерная цепь

Рассмотрим установку заготовки по наружной цилиндрической поверхности при помощи призмы для обработки отверстия диаметром  $d$ . Кроме того, должны быть выдержаны размер  $A_{n1}$  и угол  $b$ . До рассматриваемой операции были обработаны наружный диаметр  $D$  с допуском  $TD$ , шпоночный паз шириной  $b$  с допуском  $Tb$ . Соответствующая схема установки показана на рис. 5.6, а расчетная схема и размерные цепи для расчета погрешности схемы установки – на рис. 5.7.

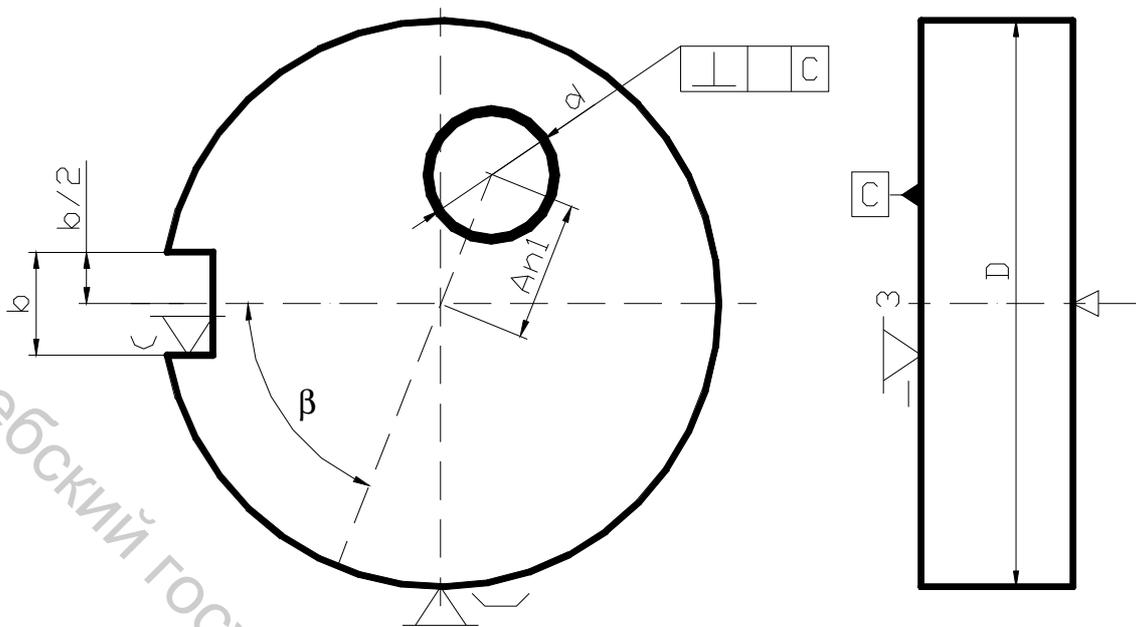


Рис.5.6. Схема установки, соответствующая схеме базирования детали представленной на рисунке 2.9

Уравнение плоской размерной цепи, показанной на рис.5.7-б, имеет вид

$$A_{n1} \sin b + A_{n2} \cos b = A_{n1} + OM \sin b,$$

где  $OM = D / (2 \cdot \sin a)$ .

тогда

$$A_{n1} = A_{n1} \sin b + A_{n2} \cos b - D \sin b / 2 \sin a,$$

Дифференцированием по D получаем

$$d(A_{n1}) = dD \cdot \sin b / (2 \sin a)$$

Размеры  $A_{n1}$ ,  $A_{n2}$  и  $\beta$  от размера D не зависят. Поэтому заменив дифференциал малыми погрешностями погрешность схемы установки по размеру  $A_{n1}$  можно определить с помощью модели

$$\Delta_{cy}(A_{n1}) = TD \cdot \sin b / (2 \sin a).$$

Из второй размерной цепи (рис.5.7-в) получаем

$$A_{n1} \sin b + A_{n2} \cos b = A_n - D / 2 + OM \sin b,$$

Погрешность схемы установки по размеру  $A_n$  можно определить с помощью модели

$$\Delta_{cy}(A_n) = TD / 2 - TD \cdot \sin b / (2 \sin a).$$

В этом случае погрешность схемы установки включает в себя соответствующую погрешность схемы базирования.

Причем если  $b = a$ , то  $\Delta_{cy}(A_n) = 0$

Уравнение размерной цепи, показанной на рис.5.7-г, имеет вид.

$$B_H + b/2 = e + OM = e + D/2 \sin \alpha,$$

где  $e$  - смещение оси цилиндра, вызванное погрешностью размеров  $D$  и  $b$ . Тогда дополнительный поворот заготовки (погрешность схемы установки по углу  $\beta$ ) будет.

$$\Delta_{cy}(b) = e / (D/2) = (TD / \sin \alpha + Tb) / D$$

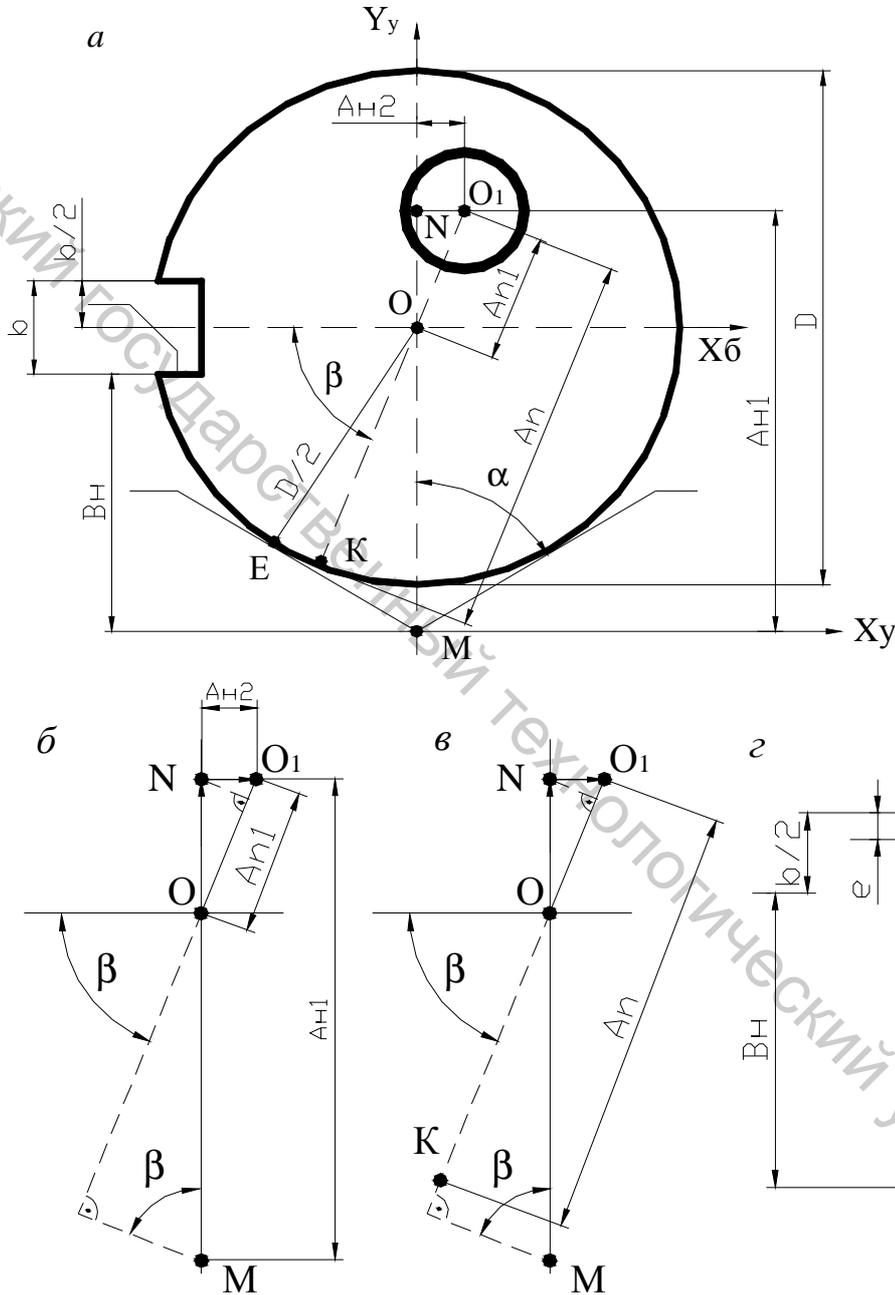


Рис. 5.7. Расчетная схема и размерные цепи для определения погрешности схемы установки представленной на рис. 5.6.

Расчетная схема для определения погрешности схемы установки на операции 005 для рассматриваемой детали по размеру  $C$  (соосность наружной и внутренних поверхностей вращения) имеет вид представленный на рис 5.8.

Уравнение размерной цепи имеет вид

$$A_n = C + OM .$$

Откуда

$$\Delta_{cy}(C) = TD / (2 \sin a) .$$

При установке по отверстию на цилиндрический палец возникает неопределенность положения

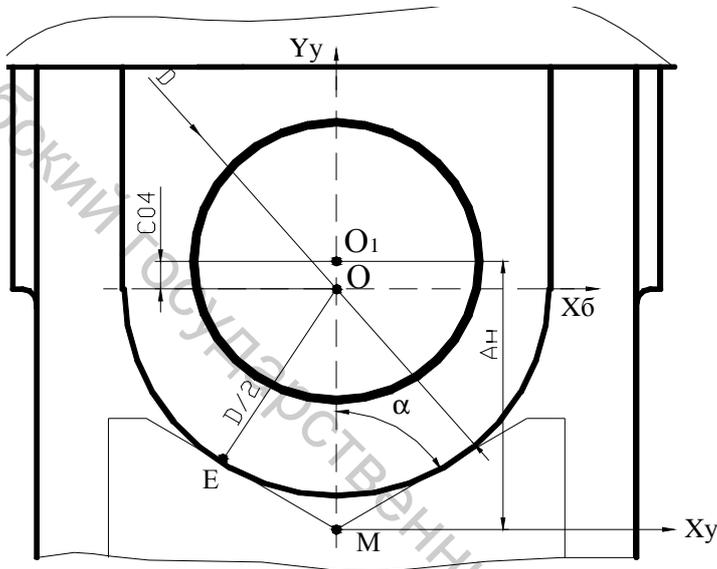


Рис.5.8. Расчетная схема для определения погрешности схемы установки по размеру метра цилиндрического пальца.

заготовки, которая может смещаться в любом направлении в пределах зазора (рис.5.9, 2.14).

Погрешность схемы установки  $\Delta_{cy}(A_n)$  в этом случае можно определить по модели

$$\Delta_{cy}(A_n) = Td + BO(d_n) ,$$

где  $Td$  – допуск диаметра отверстия;  $BO(d_n)$  – верхнее отклонение диаметра

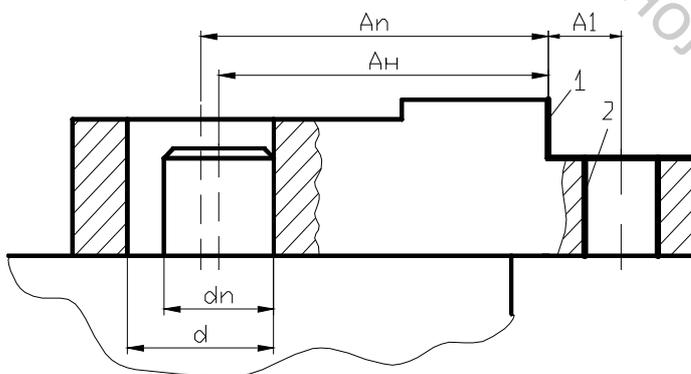


Рис.5.9. Установка заготовки по отверстию на цилиндрический палец

При обработке нескольких поверхностей с одной установки только по отношению к одной определяется погрешность схемы установки и эта поверхность далее служит настроечной базой. Погрешность схемы установки  $\Delta_{cy}(A_1) = 0$  т.к. поверхность

1 служит настроечной базой для обработки поверхности 2.

В тех случаях, где условия для возникновения погрешности схемы установки существуют, необходимо ее оценить и в дальнейшем включить в допуск на технологический размер при расчете технологических размеров и размеров заготовки.

Разработанные схемы и оцененные схемы установки являются заданиями на проектирование или выбор приспособления.

#### 5.4. Выводы по главе 5

1. разработан метод формализованного определения вида компонентов (установочная, направляющая, опорная и т.д.) комплекта технологических баз, которая позволяет за счет наложения на компонент комплекта определенного числа связей сформировать систему координат объекта производства таким образом, чтобы на этапе проектирования схемы базирования обеспечить необходимые требования взаимной ориентации поверхностей ФМ;

2. разработан массив продукционных моделей, состоящий из 62 алгоритмов и соответствующий ему массив примеров, позволяющий в зависимости от задания ориентации оси или плоскости ФМ относительно компонентов комплекта баз, формально назначать вид компонентов;

3. разработан метод формализованного структурного синтеза состава компонентов теоретической схемы установки, который позволяет сформировать задание на проектирование или выбор оснастки при базировании заготовок корпусных деталей сопряжением;

4. предлагается методика оценки погрешности схемы установки зависящей от нескольких размеров (многозвенная и плоская размерная цепь), позволяющая провести анализ пригодности принятой теоретической схемы установки.

## ГЛАВА 6

# ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕДУР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### 6.1. Программное обеспечение процедуры синтеза комплектов технологических баз

Для автоматизации процедур проектирования технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей разработан программно-методический комплекс в составе:

– комплект методических указаний и учебных пособий, внедренных в учебный процесс УО «Витебский государственный технологический университет» и ряд машиностроительных предприятий, включающий:

а) учебник «Основы технологии машиностроения» с грифом Министерства образования РБ и Российской Федерации;

б) брошюру «Методика формализованного проектирования схем базирования, схем установки и маршрута обработки заготовок корпусных деталей»;

в) учебно-методическое пособие по курсовому проектированию по дисциплинам «Технология станкостроения» и «Проектирование технологических процессов»;

г) методические указания к лабораторным и практическим работам по курсу «Технология машиностроения» для студентов специальностей 36.01.01 и 36.01.03. «Базирование при механической обработке».

д) методические указания к лабораторным работам по курсу «Основы теории проектирования технических систем» для студентов специальностей 36.01.01 и 36.01.03. «Синтез маршрута обработки типовых компонентов деталей».

– программное обеспечение автоматизации процедур проектирования технологических процессов механической обработки заготовок (Win 98 2000 XP, HDD1Gb, DIMM 128Mb; программа разработана на языке Delphi6):

а) определение возможных комплектов баз ориентации внутри этапов типовой схемы обработки заготовок корпусных деталей;

б) синтеза маршрута обработки конструктивных элементов;

в) проектирования состава установочных элементов по известной схеме базирования,

г) расчета технологических размеров и размеров заготовки.

Программа определения возможных комплектов баз ориентации внутри этапов типовой схемы обработки заготовок корпусных деталей позволяет формировать список комплектов проектных технологических баз для обработки функциональных модулей детали.

Пользователь программы на стадии ввода исходной информации представляет деталь набором функциональных модулей, для чего ему предлагается выбрать из классификатора один из комплексных функциональных модулей (рис. 6.1, а), после чего отображается его эскиз с нумерацией элементарных ФМ (6.1, б). Далее из комплексного ФМ методом адресации можно получить частный случай модуля, для чего с соответствующего элемента выбора «снимается флажок». При этом на чертеже сноска, соответствующая удаленной поверхности окрасится в красный цвет (6.1, в).

Далее необходимо задать внутренние показатели функционального модуля (характерные размеры, шероховатость поверхностей, качество точности внутренних размеров) (рис. 6.1, г).

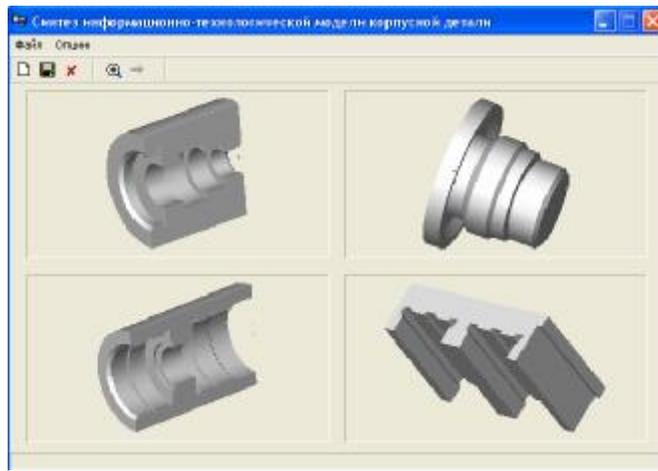
Программой предусмотрен просмотр состояния ФМ на этапах механической обработки (заготовительный, предварительный, чистовой, отделочный).

После задания всех необходимых модулей выбирается модуль, система координат которого будет глобальной, указываются смещения осей и углы наклона локальных систем координат каждого модуля относительно глобальной системы координат, задаются допуски взаимного расположения, вводятся размерные связи между главными поверхностями ФМ.

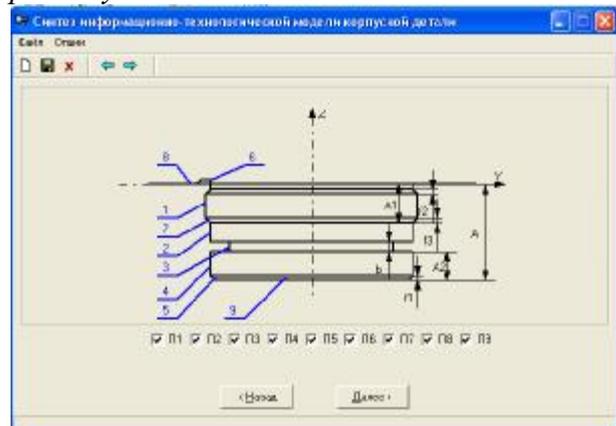
Далее происходит анализ правильности задания допусков взаимного расположения (по правилам однозначности и корректности задания) и правильности задания размерных связей. Для правильности задания размерных связей используются матрицы смежности  $R_{(x,y,z)}^{cm} = \|v_{i,j}\|_{m \times m}$  элементы которой образуются по правилу:

$$v_{i,j} = \begin{cases} A(T), & \text{если вершина } \bar{n}_i \text{ соединена с } \bar{n}_j \text{ ребром;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

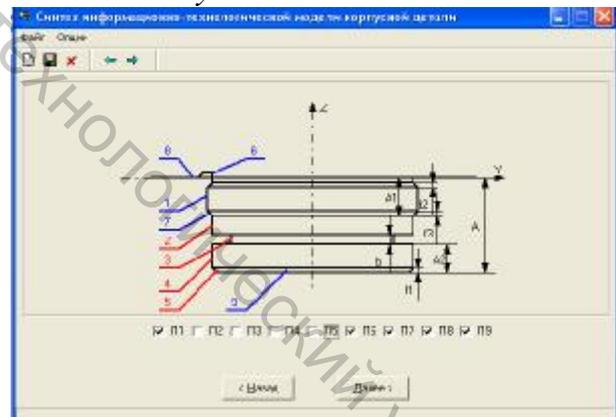
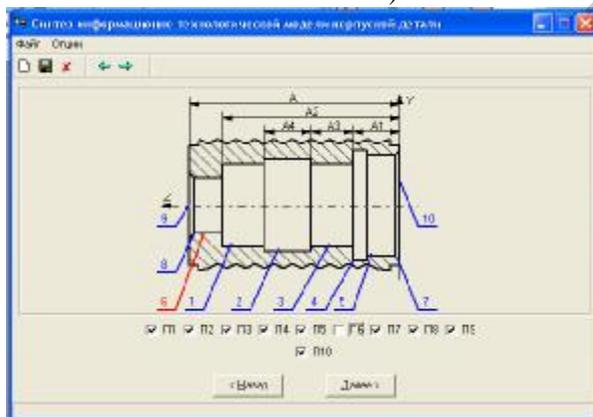
где  $A(T)$  – соответствующий размер и численное значение допуска на него; может в свою очередь иметь метку 1 или 2.



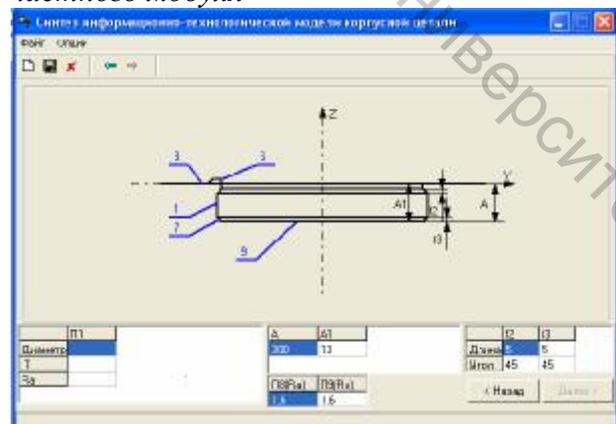
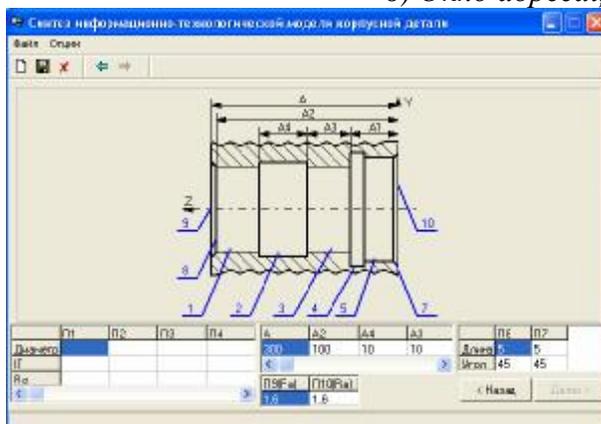
а) Окно выбора модулей



б) Окно эскизов комплексных модулей



в) Окно адресации частного модуля



г) Окно задания внутренних параметров модуля

Рис. 6.1. Задание информации о детали с помощью ФМ

Таким образом, в общем виде матрица смежности поверхностей имеет вид

$$R_{(x,y,z)}^{см} = \begin{array}{c|cccccc} & \bar{n}_1 & \bar{n}_2 & \dots & \bar{n}_j & \bar{n}_m \\ \hline \bar{n}_1 & 0 & A_{12} & \dots & 0 & A_{1m} \\ \bar{n}_2 & A_{12} & 0 & \dots & 0 & A_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{n}_i & A_{i1} & 0 & \dots & 0 & A_{im} \\ \bar{n}_m & A_{1m} & A_{2m} & \dots & A_{mj} & 0 \end{array}$$

Строки и столбцы матрицы  $R_{(x,y,z)}^{см}$  соответствуют вершинам графа. На пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца ставится элемент  $r_{i,j}$  соответствующий численному значению допуска на размер, соединяющий вершины  $\bar{n}_i$  и  $\bar{n}_j$ . Метка 1 присваивается элементу матрицы в том случае, если между собой соединяются обрабатываемые вершины. Метка 2 присваивается элементу матрицы в том случае, если между собой соединяются необрабатываемые вершины и если дуга соединяет обрабатываемую вершину с необрабатываемой.

Для оценки правильности простановки размеров с помощью матриц смежности предлагается проверять следующие условия:

1. Число вершин на графе должно быть на 1 больше числа ребер, т.е. должно выполняться условие  $KI/2 = m - 1$ , где  $KI$  – сумма строк и столбцов не равных 0.

Если  $KI/2 < m - 1$ , то на чертеже недостаточно размеров.

Если  $KI/2 > m - 1$ , то на чертеже  $KI/2 - m + 1$  лишних размеров.

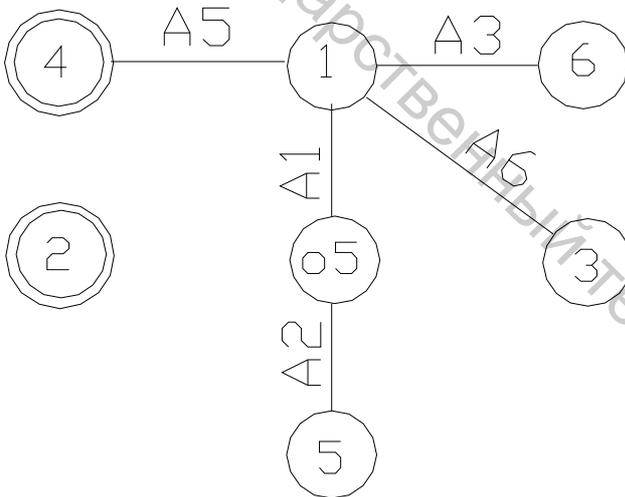
2. На графе не должно быть оторванных вершин, т.е. в матрице не должно быть нулевой строки (столбца) (рис. 6.2, строка (столбец) 2).

3. На графе должна быть одна связь между комплексом обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей, т.е. строки (столбцы) матрицы, соответствующие номерам обрабатываемых вершин, должны иметь единственный

элемент с меткой «2», а необрабатываемые с меткой «1» (рис. 6.3, строки (столбцы) 1 и O5).

4. На графе не должно быть замкнутых контуров. Для проверки этого условия в строке (столбце) матрице отыскиваются единственные ненулевые элементы (рис. 6.4, а). Далее эти строки (столбцы) обнуляются (в графе отсекаются вершины) (см. рис. 6.4, б)). В результате получится новая матрица, в которой соответствующие элементы строк (столбцов) нулевые. В новой матрице вновь выполняется обнуление конечных ветвей и т.д. Поиск прекращается при получении на двух последних шагах двух одинаковых матриц. (См. рис. 6.4, в).

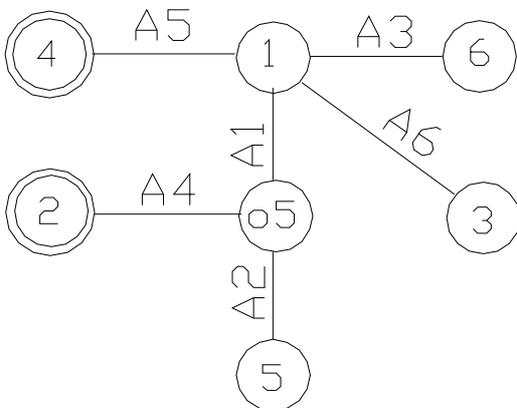
а



б

	1	2	3	4	5	o5	6
1	0	0	1	2	0	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0
4	2	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0
o5	1	0	0	0	1	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0

Рис. 6.2. Проверка условия на оторванные вершины



	1	2	3	4	5	o5	6
1	0	0	1	2	0	1	1
2	0	0	0	0	0	2	0
3	1	0	0	0	0	0	0
4	2	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0
o5	1	2	0	0	1	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0

Рис. 6.3. Проверка условия отсутствия связей между комплексом обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей

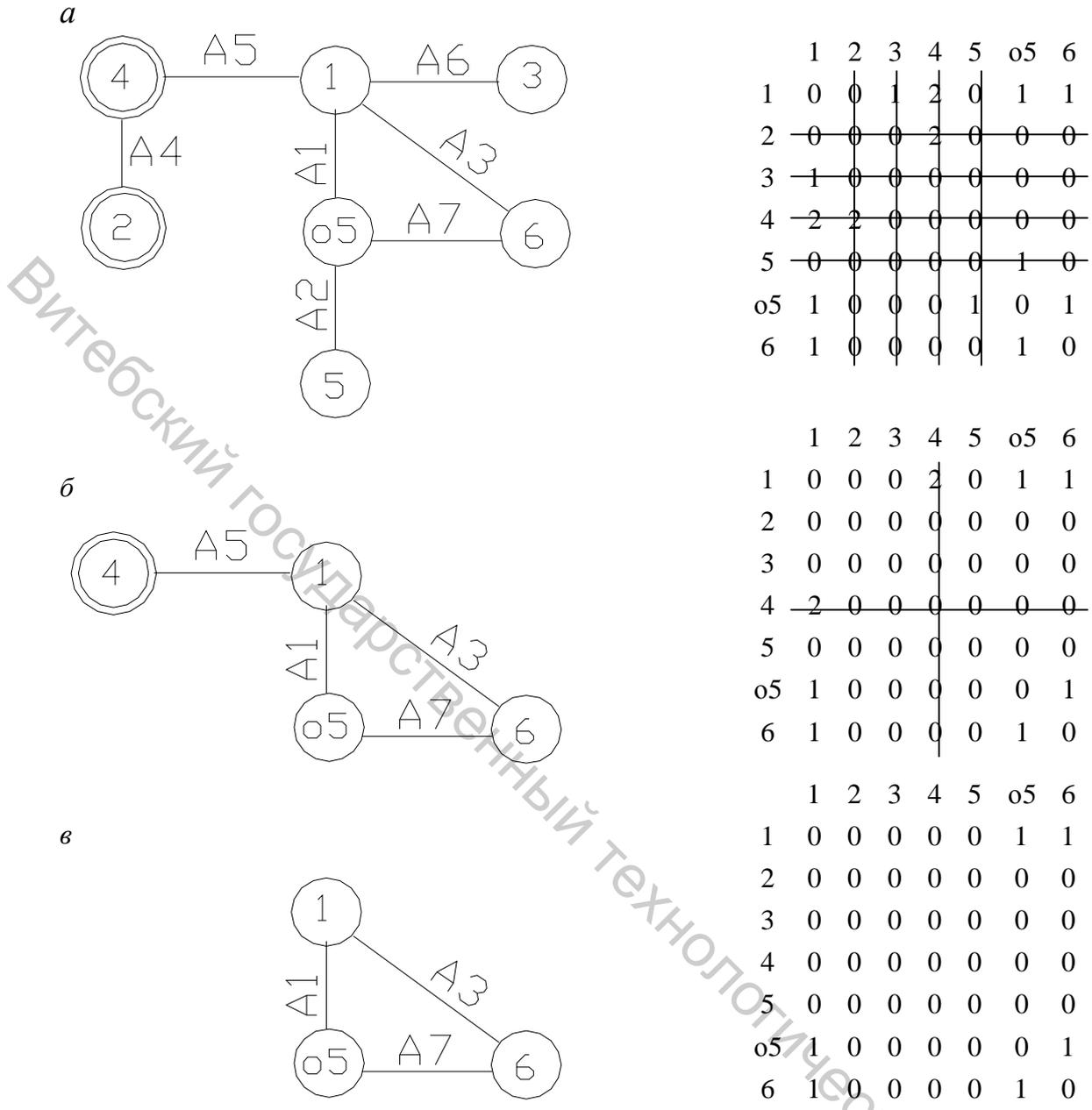


Рис. 6.4. Выявление замкнутого контура

Если обнаружена ошибка задания, то появится соответствующее предупреждение. Если ошибок ввода не обнаружено, то после соответствующих расчетов, пользователю выдается список комплектов баз для обработки ФМ и отдельных поверхностей (рис. 6.5).

## 6.2. Программное обеспечение процедуры синтеза маршрута обработки функциональных модулей низких рангов

Программа позволяет синтезировать возможные маршруты обработки ФМ низких рангов как для корпусных, так и для тел вращения и рычагов с

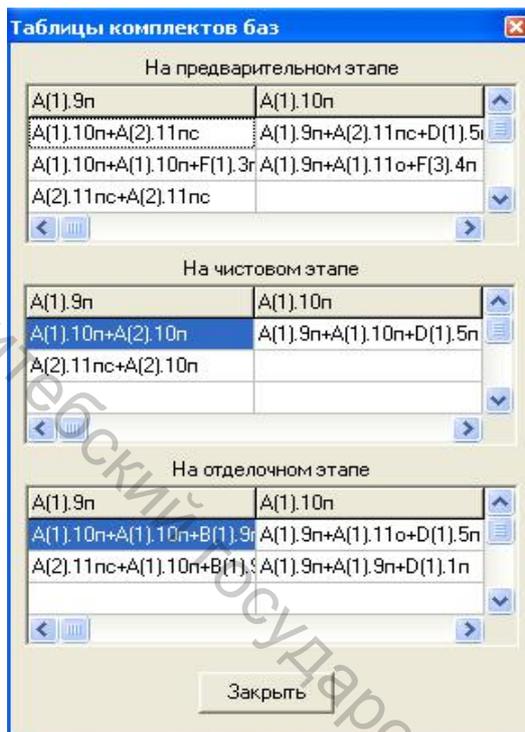


Рис. 6.5 Комплекты проектных технологических баз на каждом

, гиперboloиды), вид (открытые, полуоткрытые, закрытые), тип (наружные, внутренние).

Эти данные используются для получения идентификационного кода типового компонента, который в дальнейшем используется программой для выбора возможных переходов из соответствующих масивов.

возможностью оптимизации по однородности обработки и основному времени.

При запуске программы на экране появляется основное окно (рис. 6.6). Для синтеза маршрут обработки ФМ, необходимо предварительно задать все необходимые для конкретного ФМ низкого ранга детали показатели (рис. 6.7).

Далее выбираются: необходимый класс детали (тело вращения, корпусные, рычаги), класс ФМ (вращения, плоские, зубчатые, винтовые), подкласс компонентов (элементарные, канавки радиальные, канавки торцевые), группа (торцы, цилиндры, конусы, сферы, тороидальные

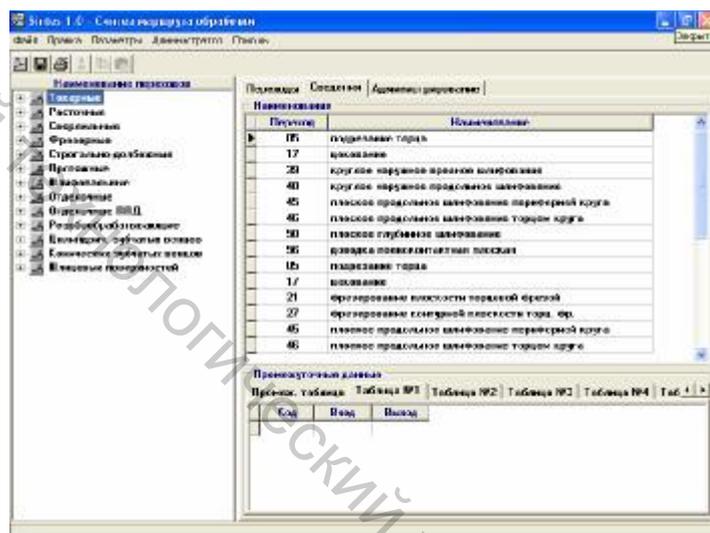


Рис. 6.6. Основное окно программы

Далее задаются непосредственно параметры точности и размеры для ФМ: качество точности заготовки, из которой нужно получить заданную поверхность, диаметр (для цилиндрических поверхностей), длина, качество точности поверхности, шероховатость Ra, твердость HRC, шаг резьбы

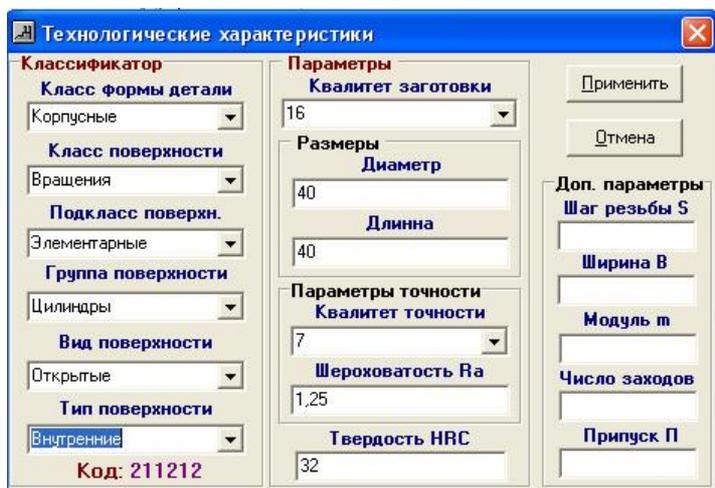


Рис. 6.7. Ввода исходных данных

(для резьбы), ширина В, модуль m (для зубчатых поверхностей), число заходов (для резьбы), припуск.

После задания всех необходимых параметров в центре таблицы отобра-

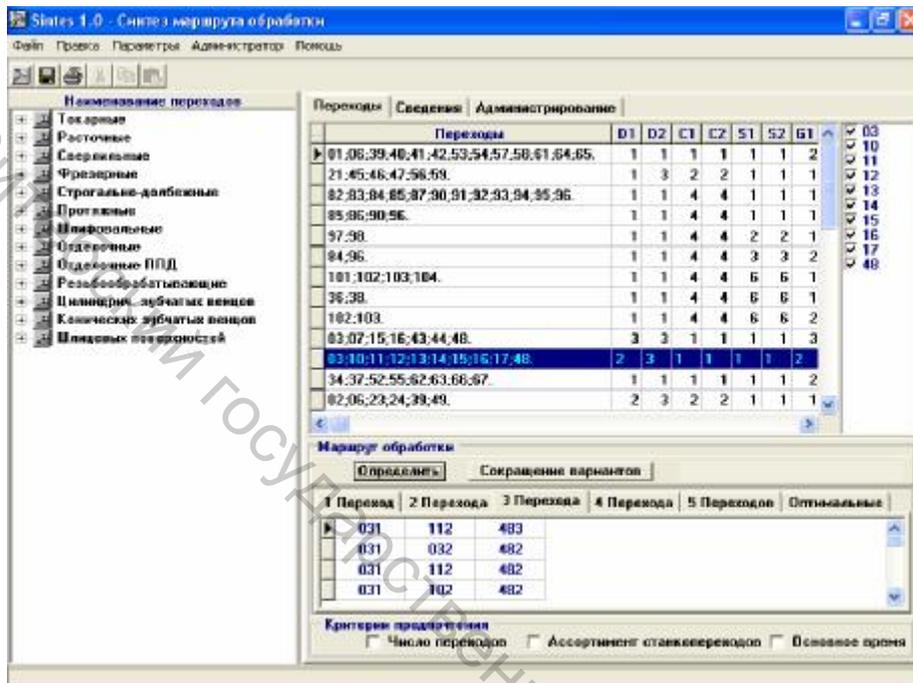


Рис. 6.8. Основное окно программы после расчетов

жаются строки, соответствующие выбранному идентификационному коду ФМ вместе с предварительно отобранными возможными типовыми переходами. Кроме этого, в небольшой вертикальной области справа появится список флажков для всех возможных переходов, позволяющий отменять или вновь задавать тот или иной переход для маршрута обработки данной поверхности детали. Далее (кнопка «определить») производится автоматический синтез вариантов маршрута обработки (рис. 6.8).

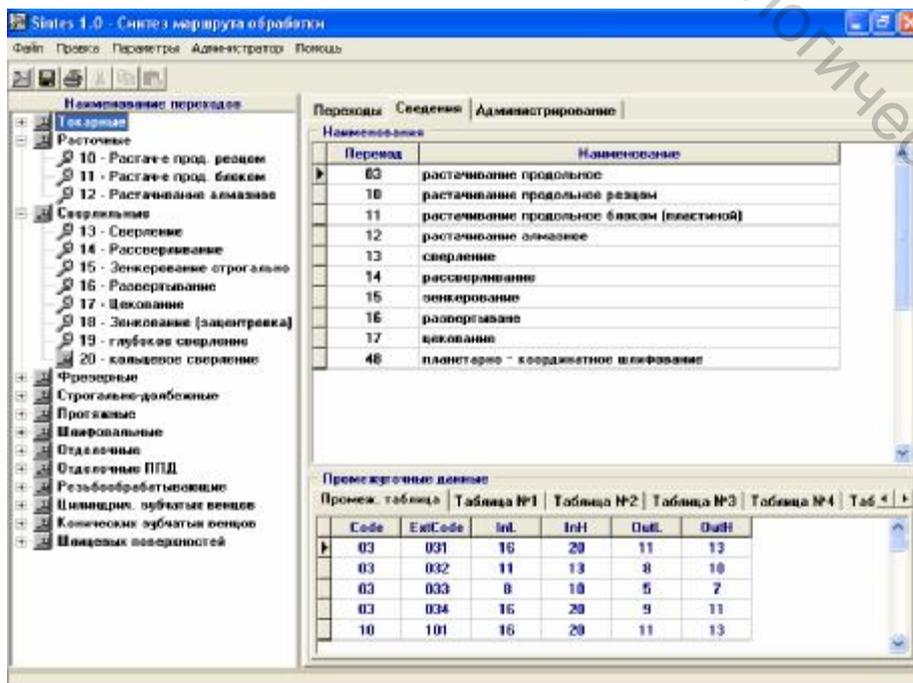


Рис. 6.9. Окно тестера

Во вкладках с заголовками «1 Переход», «2 Перехода», «3 Перехода» и т.д. отражаются результаты расчета представленные в виде таблицы с кодами переходов. С целью обеспечения проверки и тестирования программы предусмотрен просмотр промежуточных и конеч-

ных результатов обработки и расчета данных в таком виде, в каком они представляются в программе.

Программой предусматривается оптимизация маршрута по основному времени обработки и однородности переходов. Также возможна корректировка (в режиме администратора) параметров переходов, условий выбора переходов диапазонов варьирования величин (рис. 6.9).

### **6.3. Программное обеспечение синтеза состава компонентов схемы установки**

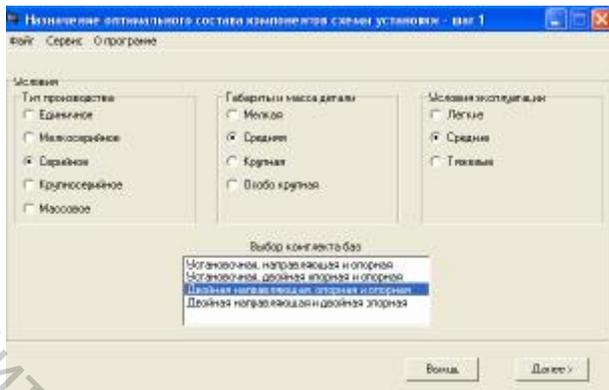
Для автоматизации процедуры синтеза состава компонентов схемы установки при базировании сопряжением разработана программа, позволяющая в автоматическом режиме выдавать список компонентов схемы установки оптимальной сложности, соответствующий разработанной схеме базирования.

При работе с программой пользователь вводит начальные условия для расчета: тип производства, габариты и массу детали, условия эксплуатации; выбирает один из четырех составов видов компонентов схемы базирования (рис. 6.10, а).

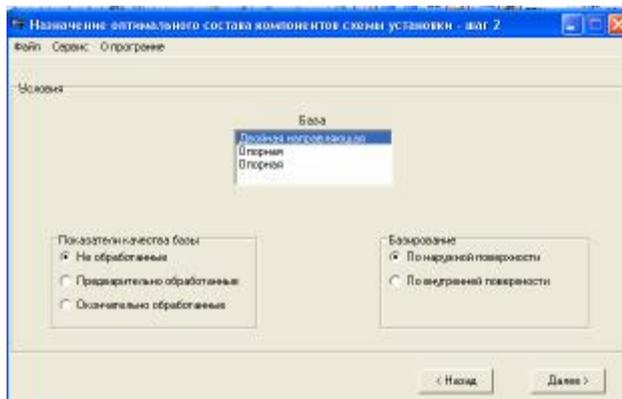
Далее задаются необходимые условия (показатели качества базы, поверхности базирования) для каждого из компонентов комплекта баз (рис. 6.10, б). В том случае, если вводятся заведомо противоречивые условия, то дальнейшая работа программы блокируется и выводится соответствующее сообщение.

Далее вводятся характерные размеры установочных компонентов баз (рис. 6.10, в). При установке курсора на одном из технических решений в правой части приложения появляются подсказки: описание этого технического решения и тип размера.

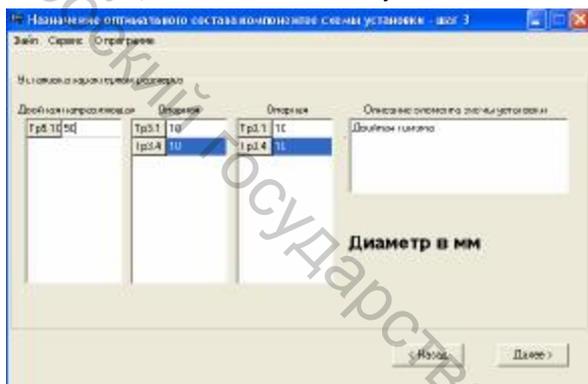
После задания всех необходимых данных для расчета программа в автоматическом режиме выдает сочетание компонентов схемы установки для заданных условий и располагает их в порядке убывания интегрального коэффициенты сложности (6.10, г). При установке курсора на соответствующем решении отображается расшифровка всех установочных компонент, входящих в данное решение. Программой предусмотрена возможность корректировки данных, а так же ввода новых технических решений (рис. 6.10, д).



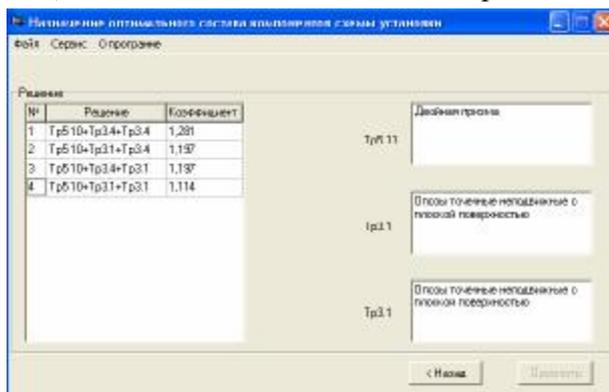
а) Ввод начальных условий



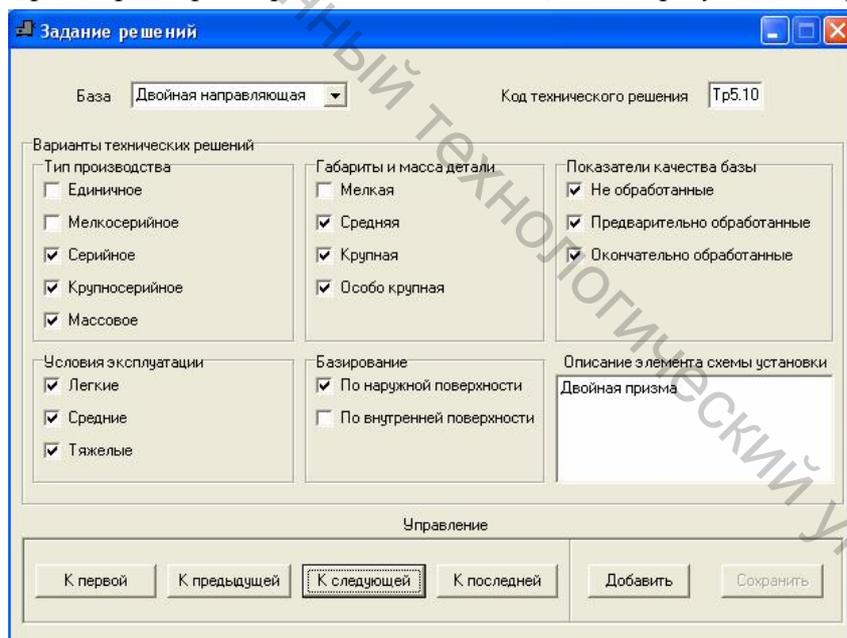
б) Ввод показателей схемы базирования



в) Ввод характерных размеров



г) Вывод результатов расчета



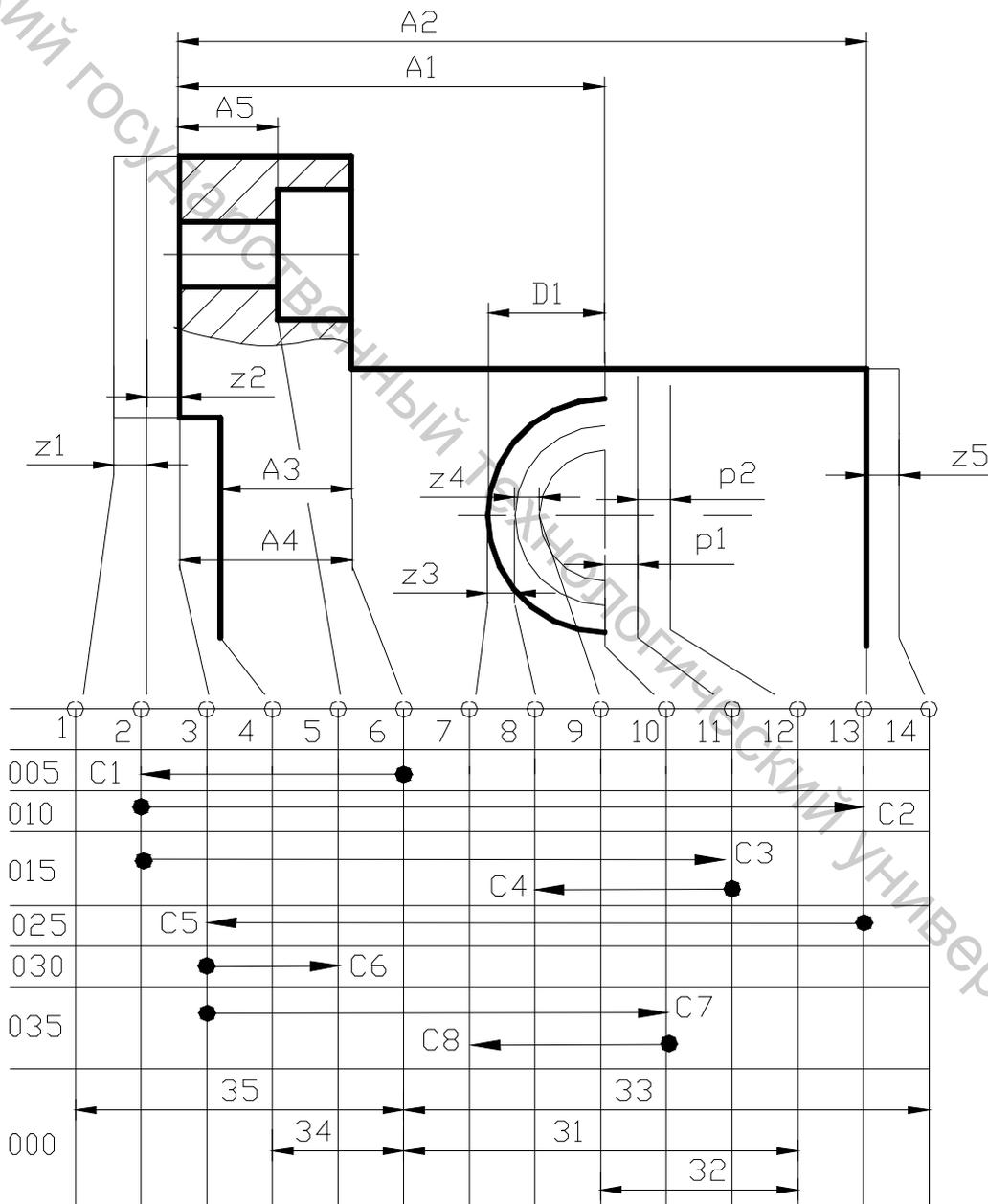
д) Задание технических решений

Рис. 6.10. Интерфейсы программы синтеза состава установочных компонентов

Информация по сложности технических решений хранится в виде простейших уравнений с соответствующими коэффициентами. Программой предусмотрено задание уравнений коэффициентов сложности и характерных размеров.

## 6.4. Программное обеспечение расчета технологических размеров и размеров заготовки

Описанные в главах 3-5 методики позволяют в полуавтоматическом режиме сформировать размерную схему технологического процесса (рис. 6.11). Размерная схема представляет собой технологический документ, в котором графически отражено изменение состояния заготовки на каждой операции ее обработки, размеры заготовки ( $Z_i$ ) и детали ( $A_i$ ), припуски ( $z_i$ ), смещения ( $p_i$ ) осей и обозначения технологических размеров ( $C_i$ ), согласно их обозначениям на этапах типовой схемы обработки детали [1].



*Рис. 6.11. Размерная схема технологического процесса  
обработки заготовки*

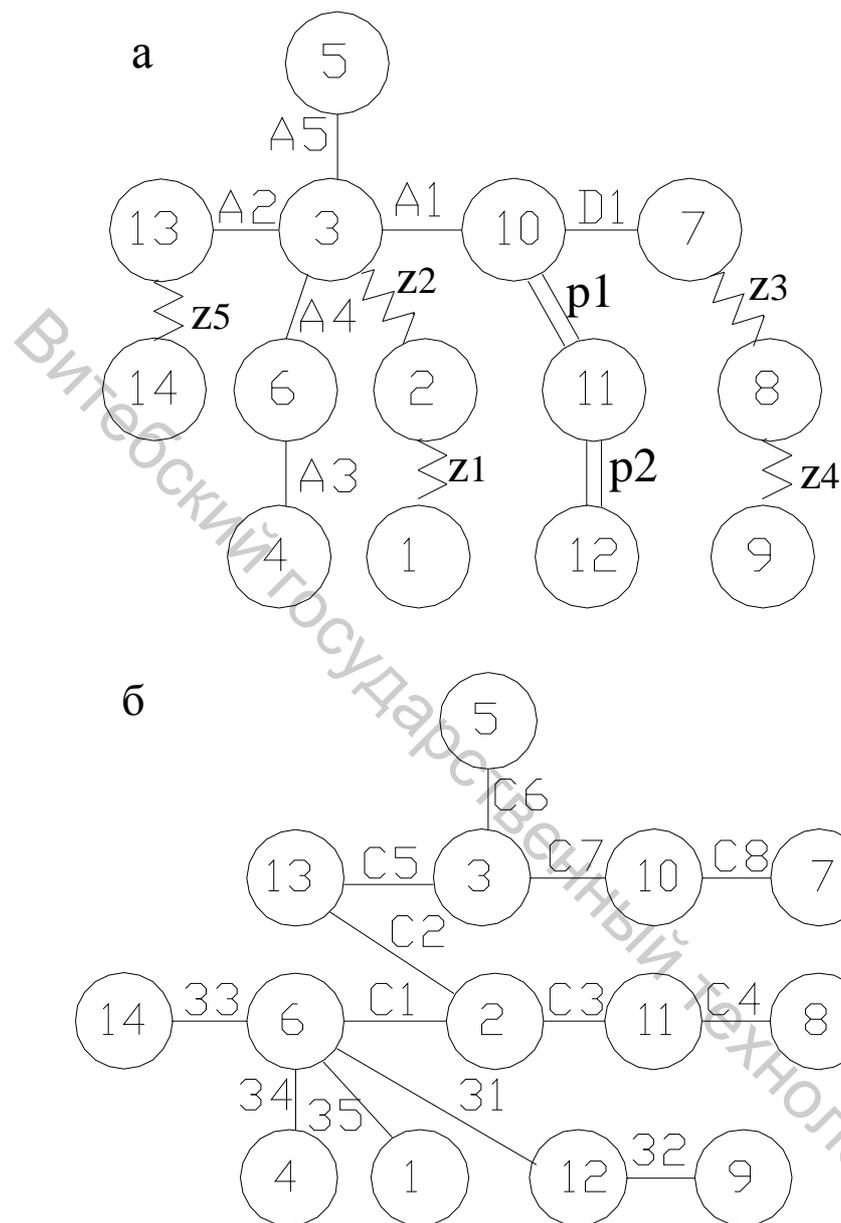


Рис. 6.12. Исходный (а) и производный (б) графы технологического процесса изготовления детали

Размерная схема позволяет выделять технологические размерные цепи, где замыкающими звеньями будут размеры детали  $A_i$ , припуски  $Z_i$  и смещения  $p_i$ . В одну размерную цепь может войти только одно замыкающее звено. Для выделения размерной цепи выбирается замыкающее звено, например  $A_5$  (рис. 6.11). Оно соединяет поверхности 3 и 6. Начиная с поверхности 3, ищем связанные технологические размеры, совокупность которых приведет к поверхности 6. Так, размеры  $C_7$  и  $C_8$  не позволяют решить поставленную задачу, а  $C_5$ ,  $C_2$  и  $C_1$  дают возможность это сделать.

На рис. 6.12 представлены исходный и производный графы размерных связей технологического процесса изготовления детали. Исходный граф связывает поверхности замыкающими звеньями, а производный граф – технологическими размерами. Замкнутые контуры (размерные цепи) посредством производного графа выделяются следующим образом. На данном графе отмечаются номера поверхностей, связанных замыкающим звеном, после чего легко находится кратчайший путь, соединяющий на графе отмеченные поверхности. Например, если замыкающее звено  $p_1$  связывает поверхности 10 и 11, то кратчайшим путем, соединяющим их на производном графе, является цепочка из звеньев  $C_7 - C_5 - C_2 - C_3$ . Кратчайший путь всегда будет единственно возможным. Он позволяет записать уравнение размерной цепи без ее построения по следующим правилам: 1) в левой части уравнения запи-

сывается замыкающее звено со знаком «+»; 2) обход размерной цепи начинается с той из поверхностей, связанных замыкающим звеном, у которой меньший номер, в направлении отхода от замыкающего звена; 3) по мере обхода в правой части уравнения составляющие звенья записываются со знаком «+», если переход через данное звено идет от поверхности с меньшим номером к поверхности с большим номером, и со знаком «-», если переход идет от поверхности с большим номером к поверхности с меньшим номером. Для звена  $p_1$  уравнение размерной цепи будет иметь вид  $p_1 = -C_7 + C_5 - C_2 + C_3$

Исходный граф технологического процесса легко получается добавлением к графу размерных связей вершин соответствующих снимаемым припускам на этапах и смещений осей, только необходимо в строгой последовательности произвести перенумерацию вершин, согласно размерной схеме технологического процесса. Таким образом, можно сформировать исходные графы  $I_{(x,y,z)}$  технологического процесса. Исходные размеры  $I_{(x,y,z)}$  предлагается представлять с помощью матрицы смежности.

$$I_{(x,y,z)}^{cm} = \left\| h_{i,j} \right\|_{m \times m} \quad \text{если ее элементы образуются по правилу}$$

$$h_{i,j} = \begin{cases} A, z, r, & \text{если вершина } m_i \text{ соединена с } m_j \text{ ребром;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

где  $A, z, r$  - обозначение: размера, смещения оси, плоскости симметрии.

На рис. 6.13 представлена матрица смежности исходных размеров (соответствующий граф изображен на 18, а)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	z1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	z1	0	z2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	z2	0	0	A5	A4	0	0	0	A1	0	0	A2	0
4	0	0	0	0	0	A3	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	A5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	A4	A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	z3	0	D1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	z3	0	z4	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	z4	0	0	0	0	0	0
10	0	0	A1	0	0	0	D1	0	0	0	p1	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	p1	0	p2	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	p2	0	0	0
13	0	0	A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	z5
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	z5	0

Рис. 6.13. Матрица смежности исходных размеров технологического процесса

Производный граф  $\Pi_{(x,y,z)}$  также предлагается представлять с помощью матрицы смежности.  $\Pi_{(x,y,z)}^{cm} = \|p_{i,j}\|_{m \times m}$  если ее элементы образуются по правилу

$$p_{i,j} = \begin{cases} C, 3, & \text{если вершина } m_i \text{ соединена с } m_j \text{ ребром;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

где  $C, 3$ - обозначение технологического размера и размера заготовки.

На рис. 6.14 представлена матрица смежности исходных размеров (соответствующий граф изображен на 6.12, б)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	C1	0	0	0	0	C3	0	C2	0
3	0	0	0	0	C6	0	0	0	C7	0	0	C5	0	0
4	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	C6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	35	C1	0	34	0	0	0	0	0	0	0	31	0	33
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C8	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C4	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0
10	0	0	C7	0	0	0	C8	0	0	0	0	0	0	0
11	0	C3	0	0	0	0	0	C4	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	31	0	0	32	0	0	0	0	0
13	0	C2	C5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 6.14. Матрица смежности производных размеров технологического процесса

	1	2	3	...	10	11	12	13	14
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	C3	0	C2	0
3	0	0	0	0	C7	0	0	C5	0
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	C7	0	0	p1	0	0	0
11	0	C3	0	0	p1	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	C2	C5	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 6.15. Матрица смежности производных размеров после «обнулений»

Алгоритм отыскания размерных цепей посредством матрицы смежности производного графа выглядит следующим образом. В матрицу смежности производных размеров переносится обозначение номеров поверхностей связанных замыкающим звеном в матрице исходных размеров. После чего, по алгоритму, приведенному в разделе 6.1, легко можно найти состав поверхностей образующих замкнутый контур.

Так матрица смежности производных размеров рассматриваемого технологического процесса для звена  $p_1$  после всех шагов

«обнулений» строк (столбцов) с единственным ненулевым элементом будет иметь вид, представленный на рис. 6.15.

Таблица 6.1

Исходная таблица звеньев

Зв	I	<>	II	Зн
C2	2	<	13	+
C2	13	>	2	-
C3	2	<	11	+
C3	11	>	2	-
C7	3	<	10	+
C7	10	>	3	-
C5	3	<	13	+
C5	13	>	3	-

номер поверхности для дальнейшего расчета (меньший из двух, в данном случае 10). Далее этот номер отыскивается в столбце I исходной таблицы звеньев, записывается знак из столбца Зн и звено из столбца Зв. (В данном случае «-C7»). Далее номер поверхности из столбца II, соответствующий записанному звену (в данном случае это номер 3), вновь отыскивается в столбце I обновленной исходной таблицы (таблица 6.2). В обновленной таблице откинуты строки в которых находились записанные в правую часть уравнения звенья. Из этой таблицы в правой части уравнения вновь записывается знак из столбца Зн и звено из столбца Зв. (В данном случае «+C5»). И так далее пока не исчерпаются все строки исходной таблицы.

Для рассматриваемого примера получаются следующие уравнения размерных цепей:  $A_1=C_7$ ;  $D_1=C_8$ ;  $A_2=C_5$ ;  $A_3=3_4$ ;  $A_5=C_6$ ;  $z_2=C_2-C_5$ ;  $A_4=C_5-C_2+C_1$ ;  $z_1=3_5-C_1$ ;  $p_2=-C_3+C_1+3_1$ ;  $z_5=-C_2+C_1+3_4$ ;  $p_1=-C_7+C_5-C_2+C_3$ ;  $z_3=C_8-C_7+C_5-C_2+C_3-C_4$ ;  $z_4=C_4-C_3+C_1+3_1-3_2$ .

Расчет уравнений размерных цепей предлагается осуществлять в два этапа.

*Этап 1. Проверочный.* Определяется запас по допуску  $T(A_i)$ , для чего вычисляется поле рассеяния замыкающего звена  $A_i$ :

$$wA_i = \sqrt{\sum I_i^2 (T(C_i))^2 + (T(3_i))^2},$$

где  $T(C_i)$   $T(3_i)$  – допуски технологических размеров и размеров заготовки.,  $\lambda$  – коэффициент относительного рассеяния.

Для определения знаков составляющих звеньев размерной цепи формируется исходная таблица звеньев (табл. 6.1). Замыкающее звено записывается в левой части уравнения со знаком «+». По номерам поверхностей связывающих замыкающее звено определяется

Таблица 6.2

Обновленная таблица звеньев

Зв	I	<>	II	Зн
C2	2	<	13	+
C2	13	>	2	-
C3	2	<	11	+
C3	11	>	2	-
C5	3	<	13	+
C5	13	>	3	-

Технологический процесс спроектирован правильно, если соблюдается неравенство

$$T(A_i) > wA_i,$$

т.е. имеется некоторый запас  $\Delta w_i > 0$  по допуску на чертежный размер, определяемый выражением

$$\Delta w_i = T(A_i) - wA_i.$$

Дефицит по точности замыкающего звена (т.е.  $\Delta w_i < 0$ ) является признаком неизбежности выхода части деталей в брак. В таком случае необходимо выбранные ранее допуски технологических размеров  $T(C_i)$  уменьшить, предусмотрев для этого повышение точности отдельных операций за счет смены оборудования, применения более совершенных приспособлений, инструмента и средств активного контроля. Если это по каким-либо причинам невозможно, то необходима корректировка технологического процесса, которая заключается: 1) в выборе других баз и иной, по сравнению с имеющейся, простановкой размеров на операциях, что может обеспечить укорочение размерной цепи; 2) во введении промежуточного перехода (или переходов), который позволит повысить точность каких-либо составляющих звеньев.

*Этап 2. Расчетный.* Расчет технологических размерных цепей предлагается осуществлять по средним значениям вероятностным методом с учетом коэффициента  $\lambda$  для различных сочетаний законов распределения размеров. Расчет минимальных припусков осуществляется дифференциально-аналитическим методом, после чего рассчитывается его среднее значение по формуле.

$$z_{cp} = z_{min} + \frac{\sqrt{\sum Tl^2_i C^2_i + \sum Tz^2_i}}{2}.$$

В допуск на технологический размер включается среднестатистическую экономическую точность обработки и погрешность схемы установки.

Решение системы полученных уравнений размерных цепей, осуществляется (после определения средних значений замыкающих звеньев) методом Гаусса. Метод расчета по средним значениям позволяет решать нерешаемые методами полной взаимозаменяемости системы уравнений.

Средние значения чертежных размеров определяются по формулам:

$$A_{icp} = A_i + \frac{T(A_i)}{2} \text{ для охватываемого размера (отверстия),}$$

$$A_{icp} = A_i - \frac{T(A_i)}{2} \text{ для охватывающего размера (вала),}$$

$$A_{icp} = A_i \text{ для прочих размеров,}$$

Для реализации метода Гаусса, формируется матрица коэффициентов при рассчитываемых технологических размерах и размерах заготовки (рис. 6.16).

$$A1_{cp} = C7_{cp};$$

$$D1_{cp} = C8_{cp};$$

$$A2_{cp} = C5_{cp};$$

$$A3_{cp} = 34_{cp};$$

$$A4_{cp} = C5_{cp} - C2_{cp} + C1_{cp};$$

$$A5_{cp} = C6_{cp};$$

$$z2_{cp} = C2_{cp} - C5_{cp};$$

$$z1_{cp} = 35_{cp} - C1_{cp};$$

$$z5_{cp} = -C2_{cp} + C1_{cp} + 34_{cp};$$

$$p2_{cp} = -C3_{cp} + C1_{cp} + 31_{cp};$$

$$p1_{cp} = -C7_{cp} + C5_{cp} - C2_{cp} + C3_{cp};$$

$$z3_{cp} = C8_{cp} - C7_{cp} + C5_{cp} - C2_{cp} + C3_{cp} - C4_{cp};$$

$$z4_{cp} = C4_{cp} - C3_{cp} + C1_{cp} + 31_{cp} - 32_{cp}.$$

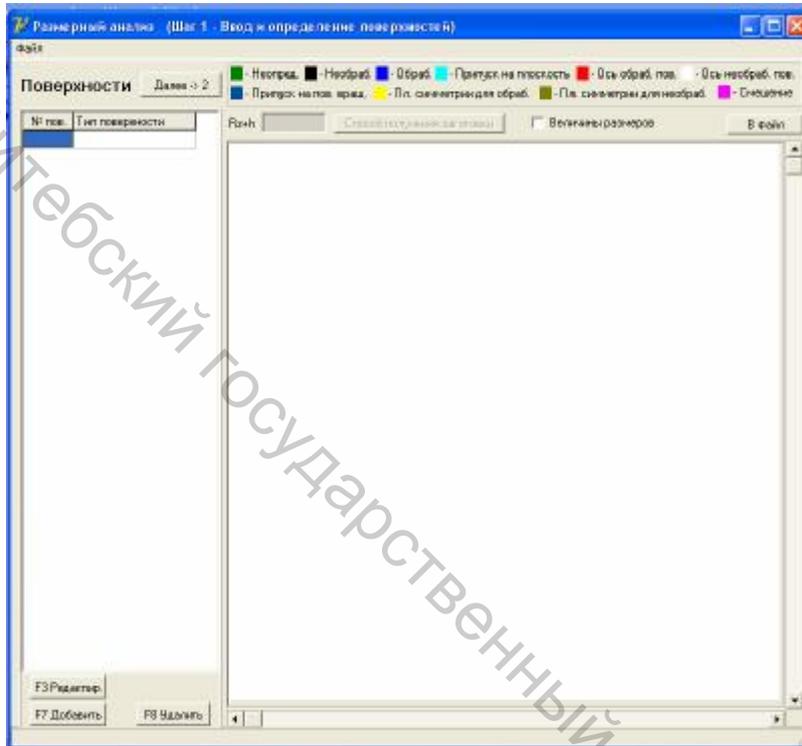
$C1_{cp}$	$C2_{cp}$	$C3_{cp}$	$C4_{cp}$	$C5_{cp}$	$C6_{cp}$	$C7_{cp}$	$C8_{cp}$	$31_{cp}$	$32_{cp}$	$33_{cp}$	$34_{cp}$	$35_{cp}$	
1	0	-1	1	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	$z4_{cp}$
0	-1	1	-1	1	0	-1	1	0	0	0	0	0	$z3_{cp}$
0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	$z2_{cp}$
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$z1_{cp}$
1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	$z5_{cp}$
0	-1	1	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	$p1_{cp}$
1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	$p2_{cp}$
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	$A1_{cp}$
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	$D1_{cp}$
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	$A2_{cp}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	$A3_{cp}$
1	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	$A4_{cp}$
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	$A5_{cp}$

Рис. 6.16. Матрица коэффициентов уравнений для расчета системы уравнений методом Гаусса

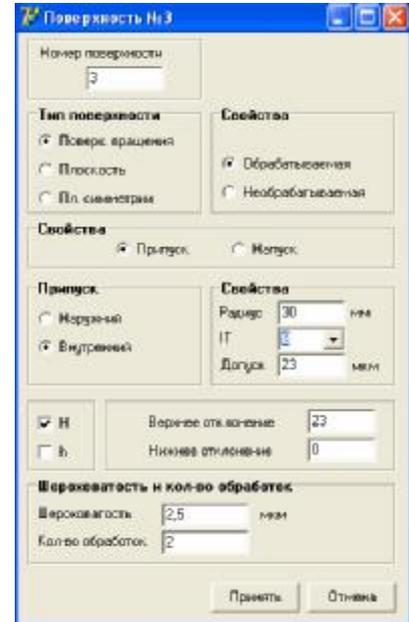
Она приводится к треугольному виду методом перестановки и вычитания (сложения) строк. Далее обратным ходом вычисляются средние значения неизвестных. После чего, вычисляются номинальные значения и указываются допуски.

Для автоматизации процедуры расчета технологических размеров и размеров заготовки разработана программа, после запуска которой, в появившемся окне (рис. 6.17, а) на левой панели находится список вводимых элементов конструкции, под списком находятся кнопки для редактирования, до-

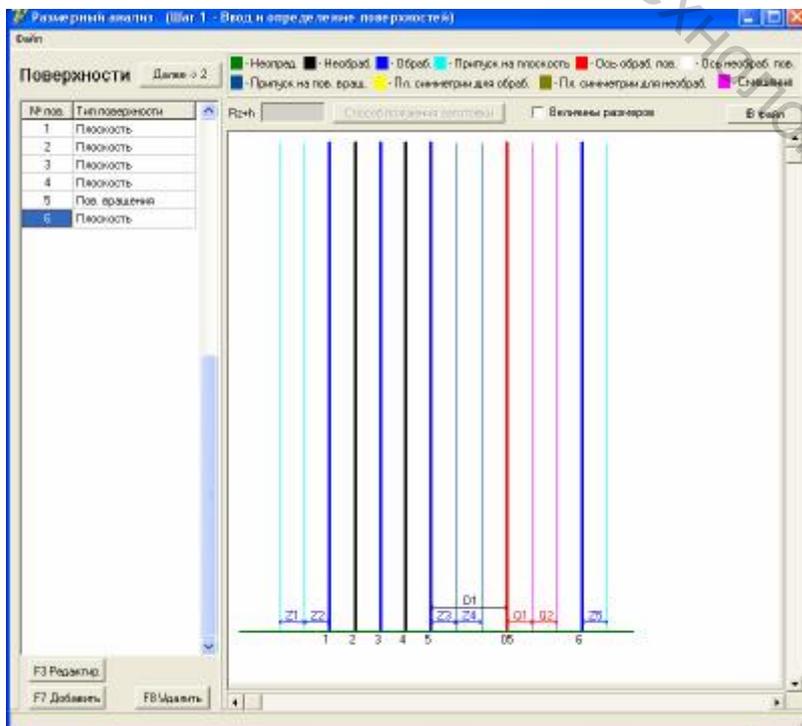
бавления и удаления поверхностей, справа находится панель отображения вводимых поверхности с припусками и смещениями осей. Вверху находится информационная панель, которая отображает цвет поверхности в зависимости от ее вида.



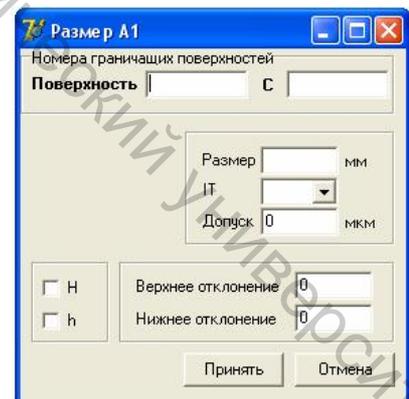
а) Основное окно программы



б) Ввод параметров поверхности вращения



в) Панель отображения поверхностей

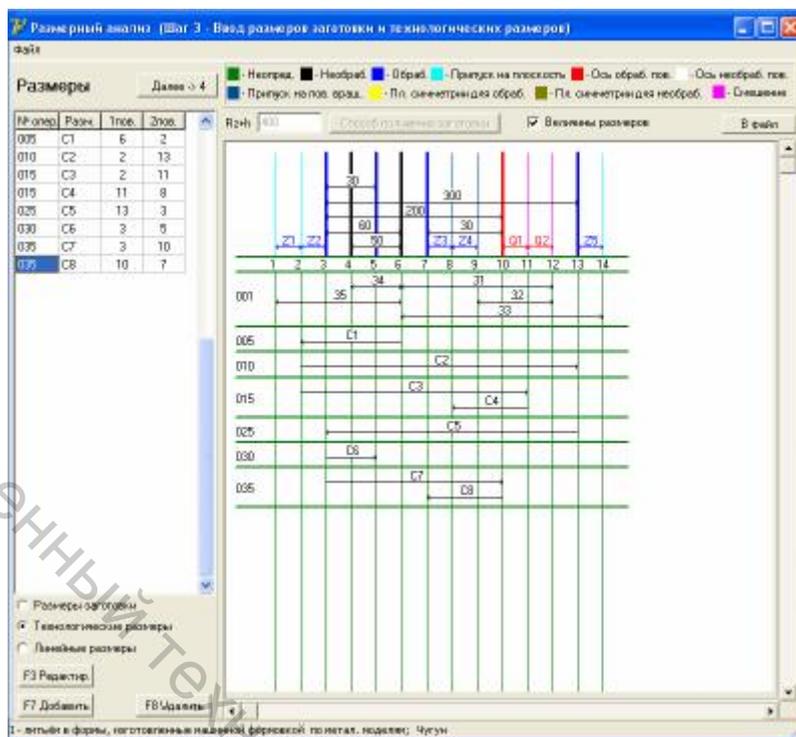


г) Ввод чертежных размеров

Рис. 6.17. Программа определения значений технологических размеров и размеров заготовки

Для ввода информации о поверхности открывается соответствующее окно (рис. 6.17, б). После ввода параметров поверхности, на панели отображения поверхностей появляется введенная поверхность с припусками (для плоскости) или припусками и смещениями осей (для отверстия) и их обозначениями (рис. 6.17, в). При введении чертежных размеров (рис. 6.17, г) осуществляется проверка правильно процесса.

а) Ввод технологических размеров



б) Размерная схема технологического процесса

```

Z4кр=1819,05; C4(130); C3(75); C1(190); C1(2500); C2(1300)
Z5кр=1863,49; C2(210); C1(190); C3(2900)
Q1(ор=0; допуск=) = -C2(45)+C5(210)-C2(210)+C3(75)
Q2(ор=0; допуск=) = -C3(75)+C1(190)+C1(2500)
D1(ор=30; IT; допуск=23) = +C8(23)
A1(кр=200; допуск=115) = +C7(45)
A2(кр=299,89; допуск=210) = +C5(210)
A3(кр=50; допуск=1600) = +C4(1600)
A4(кр=50,63; допуск=740) = +C5(210)+C2(210)+C1(190)
A5(кр=30; допуск=210) = +C8(130)

Расчитанные размеры заготовки и технологические размеры
З1=140,37мм; ES=1250; ei=-1250
З2=27,86684мм; ES=650; ei=-650
З3=242,1294мм; ES=1450; ei=-1450
З4=50мм; ES=800; ei=-800
З5=61,29715мм; ES=950; ei=-950
C1=60,03299мм; ES=0; ei=-190
C2=300,30789мм; ES=0; ei=-210
C3=200,30789мм; ES=37,5; ei=-37,5
C4=29,62094мм; ES=130; ei=0
C5=300мм; ES=0; ei=-210
C6=30мм; ES=65; ei=-65
C7=200мм; ES=22,5; ei=-22,5
C8=30мм; ES=23; ei=0

Плановые размеры
D1=30; допуск=23; ES=23; ei=0; IT=8
A1=200; допуск=115; ES=57,5; ei=-57,5; IT=9
A2=300; допуск=210; ES=0; ei=-210; IT=10
A3=50; допуск=1600; ES=800; ei=-800; IT=16
A4=60; допуск=740; ES=0; ei=-740; IT=14
A5=30; допуск=210; ES=105; ei=-105; IT=12
    
```

в) Окно отчета

Рис. 6.18 Программа определения значений технологических размеров и размеров заготовки

На следующем этапе производится ввод размеров заготовки и технологических размеров (рис. 6.18, а). На главной панели программы отображается схема расположения поверхностей, припусков и смещений осей, отображаются вертикальные линии, соответствующие этим поверхностям.

После ввода всех технологических размеров размерная схема технологического процесса сформирована (рис. 6,19, б). Далее, если размеры заготовки и технологические размеры проставлены правильно, программа составляет размерные цепи. После чего осуществляется проверка наличия запаса по допуску на чертежные размеры. Если технологический процесс спроектирован неверно, программа выдаёт рекомендации о том, как устранить данную ошибку. Если проверка удовлетворяет условию, то далее происходит расчёт размерных цепей и выдается отчет с рассчитанными технологическими размерами и размерами заготовки (рис. 6,19, в). Программой предусмотрен вывод на печать размерной схемы и отчёта, а также предусмотрено их сохранение в файл для хранения и последующей корректировки.

## 6.5. Выводы по главе 6

1. разработан комплект методических указаний и учебных пособий, внедренных в учебный процесс УО «Витебский государственный технологический университет» и ряд машиностроительных предприятий, позволяющий обучать студентов основам проектирования технологических процессов механической обработки заготовок, повышать уровень квалификации инженерно-технических работников машиностроительных предприятий, а также разрабатывать САПР ТП механической обработки заготовок нетиповых деталей (класса корпус, кронштейн и др.);

2. разработана программа определения возможных комплектов баз ориентации конструктивных элементов внутри этапов типовой схемы обработки заготовок корпусных деталей, позволяющая после представления корпусной детали набором ФМ и связей между ними сформировать список комплектов проектных технологических баз для обработки комплексов ФМ;

3. разработана программа назначения маршрута обработки ФМ низких рангов на основе моделирования состояния поверхности и ее размерной характеристики на этапах обработки, позволяющая синтезировать возможные совокупности переходов обработки ФМ низких рангов с возможностью оптимизации их по однородности обработки и основному времени;

4. разработана программа для автоматизации процедуры синтеза состава компонентов схемы установки при базировании сопряжением, позволяю-

щая в зависимости от теоретической схемы базирования в автоматическом режиме рекомендовать список компонентов схемы установки оптимальной сложности, и тем самым выдавать задание на проектирование приспособления;

5. разработаны алгоритмы и программа автоматизации размерного анализа технологических процессов, позволяющая оценить спроектированный индивидуальный технологический процесс на оригинальные (корпусные) детали и, если необходимо, выдать рекомендации по его совершенствованию, а также рассчитать технологические размеры и размеры заготовки.

Виньский государственный технологический университет

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложены принципы использования положений теории базирования при создании САПР ТП механической обработки, которые (за счет разграничения понятий реального и проектного базирования при сборке, механической обработке, теоретической схемы базирования и установки, введения положения об однозначности и корректности ориентации конструктивного элемента) упорядочивают понятийный аппарат теории базирования и создают предпосылки и условия для формализации и автоматизации процедуры синтеза теоретических схем базирования и схем установки внутри этапов механической обработки заготовок корпусных деталей [152, 154, 156, 157, 160].

2. Предложен метод формализованного синтеза конструкторско-технологической модели корпусной детали из параметризованных функциональных модулей разных уровней сложности и различного назначения, а также структуры размерных и угловых связей между ними и технологических регламентов их обработки, позволяющий связать элементы классификации с основами проектирования схем базирования и установки, сформировать модели заготовки на этапах типовой схемы обработки механической обработки и повысить качество проектирования технологических процессов за счет типизации проектных решений [152, 153, 161, 168, 169, 171-173].

3. Разработана типовая схема обработки заготовок корпусных деталей в станкостроении, позволяющая укрупнено представить технологический процесс в виде этапов (механической, термической, малярной и т.п.) обработки, определить, в зависимости от характера и точности, место переходов в ходе технологического процесса, а также упорядочить их (в первом приближении) во времени. Разработан метод формализованного синтеза маршрута обработки, который позволяет на основе анализа графов размерных связей и графов угловых расположений поверхностей ФМ для корпусных деталей формально определить возможные комплекты проектных технологических баз ориентации для обрабатываемых элементов конструкции, порядок смены комплектов баз и порядок обработки поверхностей внутри предложенной типовой схем обработки с учетом возможностей имеющегося оборудования [152, 153, 155, 158, 162, 165, 167].

4. Разработан метод формализованного определения вида компонентов (установочная, направляющая, опорная и т.д.) комплекта технологических баз ориентации, которая позволяет за счет наложения на компонент комплекта определенного числа связей сформировать систему координат объекта

производства таким образом, чтобы на этапе проектирования схемы базирования обеспечить необходимые требования взаимной ориентации поверхностей ФМ. Разработан метод формализованного структурного синтеза состава компонентов теоретической схемы установки по разработанной схеме базирования, который позволяет сформировать задание на проектирование или выбор оснастки при базировании заготовок корпусным деталям сопряжением. Предлагается также методика оценки погрешности схемы установки как меры несовпадения базовой и установочной систем координат, позволяющая еще на стадии проектирования приспособления оценить допустимость принятого варианта схемы установки [153, 154, 156, 159, 160, 164, 166, 170].

5. Представление разработанных моделей, методик, алгоритмов, баз данных, баз знаний на языке теории автоматизации проектирования, теории графов, алгебры логики, теории множеств, теории алгоритмов, теории размерных цепей и теории вероятностей позволило создать пакет прикладных программ автоматизации процедур синтеза индивидуальных технологических процессов механической обработки заготовок оригинальных нетиповых корпусных деталей и доказать их работоспособность [152, 153, 170, 177, 178].

6. Результаты работы внедрены на ОАО «ВИЗАС», ОАО «Витебский приборостроительный завод» (г. Витебск). Работа внедряется на НПП «ИНТЕРМЕХ» (г. Минск) в систему конструкторского автоматизированного проектирования CADMECH, систему автоматизации проектирования технологических процессов TECHCARD и АРМ конструктора оснастки. Результаты работы внедрены в учебный процесс УО «ВГТУ» в курсы «Технология машиностроения», «Технология станкостроения», «Основы теории проектирования технических систем», и используются в лабораторных и практических занятиях, а так же при курсовом и дипломном проектировании. Результаты работы могут быть полезны инженерно-техническим работникам машиностроительных предприятий занимающихся проектированием корпусных деталей машин и технологических процессов их механической обработки, а так же разработчикам САПР ТП механической обработки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Махаринский, Е. И. Основы технологии машиностроения : учебник / Е. И. Махаринский, В. А. Горохов. – Минск : Вышэйшая школа, 1997. – 423с.
2. Шпур, Г. , Автоматизированное проектирование в машиностроении / Ф.-Л. Краузе, Г. Шпур; пер. с нем. Г. Д.Волковой и др.; под ред. Ю. М. Соломенцева, В. П. Диденко.– Москва : Машиностроение, 1988. – 648с.
3. Михалев, С.Б. Автоматизация процессов подготовки производства / С. Б. Михалев. – Минск : Беларусь, 1973. – 288с.
4. Гривачевский А. Г. Системы кодирования контура плоской детали применительно к задачам геометрического анализа / А. Г. Гривачевский, А. Г. Горелик, Д. М. Зозулевич.– В кн.: Вычислительная техника в машиностроении. Вып. 1. – Минск : ИТК АН БССР, 1965. – с. 144 - 147.
5. Горелик, А. Г. Система кодирования геометрической информации о контурах плоских деталей.– В кн. : Вычислительная техника в машиностроении. Вып. 1 / А. Г. Горелик, Л. Н. Ламбин. – Минск : ИТК АН БССР, 1965. – с. 148 – 170.
6. Кочуров, В. А. Система кодирования конструкторской и технологической подготовки производства в машиностроении / В. А. Кочуров. – В кн. : Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении ; под ред. Г. К. Горанского. – Москва : Машиностроение, 1976. – с. 29.
7. Методика. Правила формализованного представления конструкторской и технологической информации.– Москва : Изд-во стандартов, 1976.
8. Мауэргаус, Ю. Е. Геометрическое моделирование чертежей деталей в системе технической подготовки производства / Ю. Е. Мауэргаус // Вестник машиностроения №2, 1991. – С. 55.
9. Применение ЭВМ в технологической подготовке серийного производства / С. П. Митрофанов [и др. ]. – М.: Машиностроение, 1981. – 287с.
10. Авербах, А. З. О единой системе кодирования информации при автоматизации подготовки производства в машиностроении А. З. Авербах. – В кн.: Вычислительная техника в машиностроении. Вып. 1. – Минск : ИТК АН БССР, 1965. – с. 211–237.
11. Горанский, Г. К. К теории автоматизации инженерного труда / Г. К. Горанский. – Минск : Изд-во АН БССР, 1962. – с. 216.
12. Горанский, Г. К. Система кодирования информации при машиностроительном проектировании.– В кн.: Вычислительная техника в машиностроении Мн.: ИТК АН БССР, 1965, вып. 1, с. 38—120.
13. Горанский, Г. К. Внутренний язык автоматизированных систем проектирования в машиностроении / Г. К. Горанский, Д. М. Зозулевич, Д. Р. Шерлинг. –Мн.: ИТК АН БССР, 1968. – с. 112.
14. Горанский, Г. К. Элементы теории автоматизации машиностроительного проектирования с помощью вычислительной техники / Г. К. Горанский [и др. ]. – Мн.: Наука и техника, 1970. – с. 51.
15. Горанский Г.К. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства / Г. К. Горанский, Э. И. Бендерова. – Москва : Машиностроение, 1981. – 456с.
16. Информационно-поисковая система технологического назначения / под общ. ред, Н. А. Ярмоша. – Минск : ИТК АН БССР, 1978. – с. 159.
17. Ярмош, Н. А. Автоматизация информационных процессов проектирования / Н. А. Ярмош. – Минск : Наука и техника, 1984. – 256с.
18. Цветков, В. Д. Система кодирования и вопросы построения информационного языка для описания исходной информации при технологическом проектировании / В. Д. Цветков. – В кн.: Вычислительная техника в машиностроении. Вып. 1. – Минск : ИТК АН БССР, 1965. – с 193-210.

19. Цветков, В. Д. Система автоматизированного проектирования технологических процессов / В. Д. Цветков. – М.: Машиностроение, 1972. – 240с.

20. Цветков, В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов / В. Д. Цветков. – Минск : Наука и техника, 1979. – 256с.

21. Цветков, В. Д. Проблемно-ориентированные языки систем автоматизированного технологического проектирования / В. Д. Цветков, А. И. Петровский, А. А. Толкачев; под ред. П.И. Ящерицына. – Минск : Наука и техника, 1984. – 192с.

22. Старец, А. С. Опыт разработки и внедрения системы автоматизации технологического проектирования на предприятиях с серийным характером производства / А. С. Старец.– Киев: Знание, 1983. – 24с.

23. Системы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов в машиностроении / Р. А. Алик [и др. ]; под общ. ред. Р. А. Аллика. –Ленинград : Машиностроение, 1986. – 287с.

24. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов/ С. Н.Корчак [и др. ]; под общ. ред. С. Н.Корчака. – Москва : Машиностроение, 1988. – 352с.

25. Куликов, Д. Д. Язык описания операционных заготовок / Автоматизация технической подготовки производства / Д. Д. Куликов, Е. И. Яблочников. – Минск : ИТК АН БССР, 1986. – с 114 – 112.

26. Куликов Д. Д. Метод кодирования операционных заготовок для механической обработки деталей / Автоматизация технической подготовки производства / Д. Д. Куликов. – Мн: ИТК АН БССР, 1985. – с. 85-93.

27. Боголюбов, Я. М. Система поддержки принятия решений при проектировании технологических процессов обработки на агрегатных станках / Я .М. Боголюбов, Н. Н. Гушинский, Г. Н. Левин // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования, производства и управления : Сб. науч. тр. / Под ред. Махнача В.И., Владимирова. – Минск : Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, 2003. – с. 191 – 198.

28. Махнач В.И. Алгоритмизация проектирования технологических процессов механообработки на основе матричного представления проектных решений / В. И. Махнач, Г. К. Горанский, А. Г. Гривачевский // Моделирование и информационные технологии проектирования. Сборник научных трудов. – Минск : ИТК НАНБ, 2000. – с.4-11.

29. Червяков, Л. М. Моделирование технологических решений /Л. М. червяков // СТИН, 1997, № 4. – С. 24-28

30. Старостин, В. Г. Синтез структур маршрутно-операционных технологических процессов обработки резанием / В. Г. Старостин // СТИН, 1992, № 8, С. 27-30.

31. Старостин, В. Г. Лелюхин В.Е. Формализация проектирования процессов обработки резанием / В. Г. Старостин, В. Е. Лелюхин. – Москва : Машиностроение, 1986. – 136с.

32. Соколовский, А. П. Курс технологии машиностроения / А. П. Соколовский. – Москва : Машгиз, 1947.– 343с.

33. Система ускоренной технологической подготовки производства на базе комплексной стандартизации ее элементов. Москва : Издательство стандартов, 1972. – 32с.

34. Митрофанов, С. П. Автоматизация технологической подготовки серийного производства / С. П. Митрофанов, Ю. А. Гульнов, Д. Д. Куликов. – Москва : Машиностроение, 1974. – 360с.

35. Митрофанов, С. П. Научная организация машиностроительного производства / С. П. Митрофанов. – Ленинград : Машиностроение, 1976. – 712с.

36. Митрофанов, С. П. Групповая технология машиностроительного производства. В2-х томах, 3-е изд., перераб. и доп. / С. П. Митрофанов. – Ленинград : Машиностроение, 1983. – 404с.

37. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С. П. Митрофанов [и др.]; под общ. ред. С. П. Митрофанова. – Ленинград : Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1987. – 352с.

38. Быков, В. П. Конструкторская и технологическая классификация деталей кузнечно-прессового машиностроения / В. П. Быков. – Москва : НИИМАШ, 1973. – 187с.

39. Глущенко, Е. И. Основы технологической подготовки производства в текстильном машиностроении / Е. И. Глущенко. – Москва : Машиностроение, 1972. – 230с.

40. Иллюстрированный определитель деталей общемашиностроительного применения. – Москва : Издательство стандартов, 1977. – 228с.

41. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. (В 2-х частях). Часть 1. – Москва : Издательство стандартов. 1976. – 84с.

42. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. (В 2-х частях). Часть 2. – Москва : Издательство стандартов. 1976. – 86с.

43. Конструктивно- технологический классификатор деталей металлорежущих станков. – Москва : ин-т «Оргстанкинпром», 1976. – 320с.

44. Скворцова, А. С. Формализованная классификация деталей машиностроения / А. С. Скворцова, О. И. Аверьянов // СТИН, 2001, №б. – С 24.

45. Ветко, А. Н. Формирование структуры технологического процесса обработки корпусных деталей на переналаживаемых линиях / А. Н. Ветко, В. В. Калинин // СТИН, 1990, №2. С 24

46. Кирьянов В. Н. Автоматизация технологической подготовки производства для обработки корпусных деталей на многоцелевых станках с ЧПУ и ГПС на их основе. Методические рекомендации / В. Н. Кирьянов [и др. ]. – Москва : ЭНИМС, 1985. – 99с.

47. Шрайбман С. М. Технологическая подготовка обработки корпусных деталей на многоинструментальных станках с ЧПУ / С. М. Шрайбман, М. А. Эстерзон. – Москва : Наука, 1978. – 51с.

48. Гусев Ю.В. Экспериментальная отработка типовых технологических процессов обработки основных видов поверхностей плоских и корпусных деталей в зависимости от размеров, класса точности, шероховатости поверхностей. Методические рекомендации / Ю. В. Гусев, А. А. Щукин, В. И. Гранкин. – Москва : ин-т Оргстанкипром, 1979. – 151с.

49. Операционная технология обработки деталей на многооперационных фрезерных станках с ЧПУ. Методические рекомендации / М. А. Эстерзон, С. М. Шрайбман; под ред Юхвида М. Е. Москва : ЭНИМС, 1977. – 73с.

50. РТМ2-040-45–74 Технологический регламент. Механическая обработка деталей типа корпусов шпиндельных бабок прецизионных металлорежущих станков средних размеров в условиях серийного и мелкосерийного производства.– Москва : НИИМАШ, 1975.– 42с.

51. РТМ2-040-43–74 Технологический регламент. Механическая обработка деталей типа столов прецизионных металлорежущих станков средних размеров в условиях серийного и мелкосерийного производства.– Москва : НИИМАШ, 1975.– 40с.

52. РТМ2-040-42–74 Технологический регламент. Механическая обработка деталей типа стоек и колонок прецизионных металлорежущих станков средних размеров в условиях серийного и мелкосерийного производства.– Москва : НИИМАШ, 1975.– 31с.

53. РТМ2-040-40–74 Технологический регламент. Механическая обработка деталей типа корпусов коробок подач, коробок скоростей, фартуков прецизионных металлорежущих станков средних размеров в условиях серийного и мелкосерийного производства.– Москва : НИИМАШ, 1975.– 40с.

54. Гольдфельд, М. Х. Некоторые вопросы формализации этапов проектирования структуры технологического процесса механической обработки.– в кн. Автоматизация технической подготовки производства. Вып. 19 / М. Х. Гольдфельд. – Минск : Ин-т технической кибернетики АН БССР.– С. 54-64.

55. Челищев, Б. Е. Автоматизированные системы технологической подготовки производства / Б. Е. Челищев, И. В. Боброва. – Москва : Энергия, 1975. – 136с.
56. Саратов, А. А. Математическое моделирование процесса выбора баз при машинном проектировании технологических процессов / А. А. Саратов. – В кн. : Автоматизация технической подготовки производства. Вып. 19. – Минск : Ин-т технической кибернетики АН БССР, С. 54–64.
57. Технология газонефтяного и нефтехимического машиностроения: учебное пособие / Б. М. Базров [и др.]; под общ. ред. Б. М. Базрова. Москва : Машиностроение, 1986. – 256с.
58. Базров, Б. М. Модульная технология производства деталей / Б. М. Базров // Вестник машиностроения, 1987, № 11, С. 47 – 52.
59. Базров, Б. М. Концепция модульного построения механосборочного производства / Б. М. Базров // СТИН, 1989, № 11, С. 16 – 19.
60. Сорокин, А. И. Модульные технологические процессы изготовления деталей / А. И. Сорокин, Ю. Л. Рыбальченко, Т. А. Чернова // СТИН, 1989, № 11. – С. 20-21.
61. Новиков, О. А. Автоматизированное проектирование модульных технологических процессов / О.А. Новиков, А. Я. Тянтов // СТИН, 1989, № 11. – С. 21-26.
62. Рыбальченко, Ю. Л. Инструментальное обеспечение модульных технологических процессов / Ю. Л. Рыбальченко, М. З. Хостикоев // СТИН, 1989, № 11. – С. 26 – 29.
63. Сорокин, А. И. Построение систем переналаживаемых станочных приспособлений при модульной технологии / А. И. Сорокин // СТИН, 1989, № 11. – С. 29 – 32.
64. Базров, Б.М. Внедрение модульного технологического процесса на участке токарных станков с ЧПУ / Б. М. Базров В. А. Губарь, И. И. Палийчук // СТИН, 1989, № 11. – С. 32 – 36.
65. Базров, Б. М. Модульный принцип построения механосборочного производства / Б. М. Базров // Вестник машиностроения, 1993, № 12. – С. 18 – 23.
66. Базров, Б. М. Концепция модульного построения технологических средств механосборочного производства / Б. М. Базров // Вестник машиностроения, 1996, № 2. – С. 28.
67. Губич, Л. В. Автоматизация процессов проектирования в машиностроении / Л. В. Губич. – Минск : Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, 2002. – 308с.
68. Дащенко, А. И. Применение метода направленного поиска при определении технологического маршрута механической обработки корпусных деталей / А. И. Дащенко [и др.]. – В кн. Автоматизация технической подготовки производства. – Минск : Ин-т технической кибернетики АН БССР. – С.82-91.
69. Дащенко, А. И. Проектирование автоматических линий / А. И. Дащенко, А. П. Белоусов. – Мн.: Высшая школа, 1983.– 394с.
70. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении / Корсаков В.С. [и др.]; под общ. ред. Капустина Н.М. – Москва : Машиностроение, 1985. – 304с.
71. Комисаров, В. И. Точность, производительность и надежность в системах проектирования технологических процессов / В. И. Комисаров, В. И. Леонтьев. – Москва : Машиностроение, 1985. – 219с.
72. Юшкевич, В. В. Построение структуры расточных операций комбинаторными методами.– В сб.: Автоматизация технической подготовки производства / В. В. Юшкевич . – Минск : Изд-во АН БССР, 1981. – с. 116-125.
73. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / Ю. М. Соломенцев [и др.]; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева, В. Г. Митрофанова. — Москва : Машиностроение, 1986. – 256с.
74. Орловский, Г. В. Искусственный интеллект: промышленная точка зрения.– В кн.: ЭВМ в проектировании и производстве / Г. В. Орловский, А. О. Слисенко. – Москва : Машиностроение, 1983. – с. 5 – 16.
75. Бабак, В. Ф. Модели и методы конструирования интеллектуальных САПР ТП механообработки / В. Ф. Бабак. – Москва : ВНИИТЭМР, 1990. – 56с.

76. Капустин, Н. М.. Моделирование на ЭВМ интеллектуальной деятельности технолога при проектировании технологических процессов механической обработки / Н. М. Капустин, А. В. Семенов // Вестник машиностроения, 1987, № 6, С. 39-43
77. Малышев Н. Г. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР / Н.Г. Малышев, Л.С. Берштейн, А. В. Боженик .– Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 136с.
78. Гаврилов, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилов, В. Ф. Хорошевский / СПб : Питер, 2000. – 384с.
79. Цветков, В. Д. Модели инженерных знаний в интеллектуальных САПР / В. Д. Цветков // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования, производства и управления : Сб. науч. тр.; под ред. Махнача В.И., Владимирова Е. В.. – Минск : Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, 2003. – с. 93 – 98.
80. Солонин, С. И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / С.И. Солонин, И. С. Солонин. – Москва : Машиностроение, 1980. – 110с.
81. Иващенко, И. А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации / И. А. Иващенко. – Москва : Машиностроение, 1975. – 222с.
82. Размерный анализ технологических процессов обработки / И. Г. Фридлиндер [и др. ]; под общ. ред. И. Г. Фридлиндера. – Ленинград : Машиностроение. Ленингр.отд-ние, 1987. – 141с.
83. Стрелец, А. А. Размерные расчеты в задачах оптимизации конструкторско-технологических решений / А. А. Стрелец, В. А. Фирсов. – Москва : Машиностроение, 1988. – 120с.
84. Цепи размерные. Расчет технологических размерных цепей / В. В. Матвеев [и др. ]. – Москва : ВНИИНМАШ, 1982. – 226с.
85. Ступаченко, А. А. САПР технологических операций / А. А. Ступаченко. – Ленинград : Машиностроение, 1988. – 234с.
86. Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства в машиностроении. Т.1. / под общ. ред. О. И. Семенкова. – Минск, “Вышэйшая школа”, 1976. – 320с.
87. Системы автоматизированного проектирования. В 9-ти кн.Кн.6. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования : учеб. пособие для втузов / Н. М.Капустин, Г. Н.Васильев; под ред. И. П. Норенкова. – Москва : Высшая школа, 1986. – 125 с.
88. Синтез структуры САПР из унифицированных блоков. Методические рекомендации. МР 111-84. – Москва : ВНИИНМАШ, 1984. – 63с.
89. Хокс, Б. Автоматизированное проектирование и производство/ Б. Хокс ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1991. – 296с.
90. Хорафас, Д. Конструкторские базы данных / Д. Хорафас, С. Легг ; пер. с англ. Д. Ф. Миронова. – Москва : Машиностроение, 1990. – 234с.
91. Системное проектирование интегрированных АСУ ГПС машиностроения / Ю. М. Соломенцев [и др. ]; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – Москва : Машиностроение, 1988. – 488с.
92. Быков, В. Г. Методическое обеспечение САПР в машиностроении / В. Г. Быков. – Ленинград : Машиностроение, 1989. – 255с.
93. Бирюков, В. В. САПР технологических процессов обработки деталей типа тел вращения и корпусов / В. В. Бирюков, С. А. Дьяченко // Станки и инструменты. – 1991, №1. – с17 – 18.
94. Зарубин, В. М. Автоматизированная система проектирования технологических процессов механосборочного производства / В. М. Зарубин, Н. М. Капустин. – Москва : Машиностроение, 1979. – 488с.
95. Ткачева, О. Н. Современные автоматизированные системы проектирования технологических процессов в машиностроении / О. Н. Ткачева, А. П. Кузнецов. – Москва : НИИМАШ, 1984. – 72с.

96. Разработка САПР: В10 кн. / А. В. Петров [и др. ] ; под ред. А. В. Петрова. – Москва : Высшая школа, 1990.
97. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов / И. П. норенков. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 360с.
98. Хейфец, М. Л. Автоматизация технологической подготовки производства / Моделирование и информационные технологии проектирования. Сборник научных трудов / М. Л. Хейфец, В. С. Точило, С. В. Пальвинский. – Минск : 2000. – с.41 – 47.
99. Основы САПР CAD/CAM/CAE / Кунву Ли [и др.] ; пер. с англ. – Санкт- Петербург, 2004. – 559с.
100. ADEM CAD/CAM/TDM Черчение, моделирование, механообработка / А. В. Быков, В. В. Силин. – Питер : BMV-Петербург, 2003. – 319с.
101. САПР: учебное пособие для средних специальных учебных заведений / Х. Л. Гафуров, В. П. Смирнов. – Санкт - Петербург : Судостроение, 2000. – 234с.
102. Грувер, М., Зиммерс Э. САПР и автоматизация производства / М. Грувер, Э. Зиммерс ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1987. – 224с.
103. Ткаченко, Л. С. Основы автоматизации проектирования технологических процессов обработки резанием / Л. С. Ткаченко, А. В. Соусь, Э. Ф. Яковицкий. – Минск : Наука и техника, 1978. – 159с.
104. Капустин, Н. М. Разработка технологических процессов обработки деталей с помощью ЭВМ / Н. М. Капустин. – Москва : Машиностроение, 1976. – 288с.
105. Курейчик, В. М. Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР. Учебник для вузов / В. М. Курейчик. – Москва : Радио и связь, 1990. – 352с.
106. Павлов, В. В. САПР. Проектирование технологических процессов механической обработки резанием по типовым математическим моделям. Методические рекомендации, МР 109-84. / В. В. Павлов [и др. ]. – Москва : ВНИИНМАШ, 1984. – 144с.
107. Свешников, Е.П. Система автоматического проектирования технологических процессов механической обработки деталей в диалоговом режиме / Е. П. Свешников [и др. ]. – Ленинград : ЛДНТП, 1988. – 22с.
108. Голоденко, Б.А. Интерактивная система автоматизированного проектирования технологических процессов обработки резанием / Б. А. Голоденко, В. П. Смолянец, Г. А. Черная // Вестник машиностроения. – 1990, №11. – с.26 – 27.
109. Диалоговая система многоуровневого проектирования технологических процессов гибкого производства / В. Г. Митрофанов [и др. ] // Вестник машиностроения. – 1987, №2. – с.26 – 27.
110. Шишков, С.Е. Автоматизация размерного анализа и синтеза технологических процессов / С. Е. Шишков, А. В. Котов, А. Н. Деревьева // СТИН, 1992, № 3, С. 3 – 4.
111. Гладков, К.М. Технология текстильного машиностроения / К. М. Гладков, Е. И. Глущенко, Б. И. Лиышиц. – Москва : «Машиностроение», 1966. – 439с.
112. Маслов Д.П. Технология машиностроения / Д. П. маслов, В. В. Данилевский, В. В. Сасов. – Ленинград : Машгиз, 1957. – 424с.
113. Каратыгин А.М. Технология полиграфического машиностроения / А. М. Каратыгин [и др. ]. – Москва : «Книга», 1967. – 552с.
114. Егоров, М. Е. Технология машиностроения / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев ; под общ. ред. М. Е. Егорова. – Москва : «Высшая школа», 1976. – 534с.
115. Малкин Я. А. Основы технологии механической обработки деталей машин / Я. А. Малкин. – Москва : Машгиз, 1961. – 199с.
116. Гурин, Ф. В. Технология автотракторостроения / Ф. В. Гурин, В. Д. Клепиков, В. В. Рейн. – Москва : Машиностроение, 1971. – 344с.

117. Яхин А. Б. Технология приборостроения / А. Б. Яхин, В. П. Ефимов. – Москва : Оборонгиз, 1955. – 379с.
118. Якобсон, М. О. Технология станкостроения / М. О. Якобсон. – Москва : Машиностроение, 1966. – 475с.
119. Эттель, А. В. Технология сельскохозяйственного машиностроения А. В. Эттель. – Москва : Машгиз, 1961. – 287с.
120. Технология машиностроения (специальная часть) / С. А. Картавов. – Киев : Издательское объединение «Вища школа», 1974. – 272с.
121. Беспалов, Б. Л. Технология машиностроения : специальная часть / Б. Л. Беспалов [и др.]. М.: Машиностроение, 1965. – 456с.
122. Батюшин, Т. К. Технология вагоностроения. Ремонт и надежность вагонов: учебник для техникумов по специальности «Вагоностроение» / Т. К. Батюшин [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1990. – 360с.
123. Данилевский, В. В. Технология машиностроения: учебник для техникумов. – 5-е изд., перераб и доп. / В. В. Данилевский. – Москва : Высшая школа, 1984. – 416с.
124. Ковшов А. Н. Технология машиностроения: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А. Н. Ковшов. – Москва : Машиностроение, 1987. – 320с.
125. Мосталыгин, Г.П. Технология машиностроения : учебник для вузов по инженерно-экономическим специальностям / Г. П. Мосталыгин, Н. Н. Толмачевский – Москва : Машиностроение, 1990. – 288с.
126. Воробьев, Л. Н. Технология машиностроения и ремонт машин: учебник для вузов / Л. М. Воробьев. – Москва : Высшая школа, 1981. – 344с.
127. Проектирование технологии: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / И. М. Баранчукова [и др.]; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – Москва : Машиностроение, 1990. – 461с.
128. Гусев, А. А. Ковальчук Е.Р., Колесов Е.М. и др. / Технология машиностроения (специальная часть) : учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. А. Гусев [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1986. – 480с.
129. Капустин, Н. М. Технология производства гусеничных и колесных машин. Учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов / Н. М. Капустин; под общ. ред. Н. М. Капустина. – Москва : Машиностроение, 1989. – 368с.
130. Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения: учеб. для машиностроит. спец. ВУЗов / И. М. Колесов. – Москва : Высшая школа, 1999, – 591с.
131. Технология машиностроения. В 2кн. Кн.1 Основы технологии машиностроения: учеб. пособ. для вузов / Э. Л. Жуков [и др.]; под ред. С. Л. Мурашкина. – Москва : Высшая школа, 2003. – 278с.
132. Маталин, А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. Ленинград : Машиностроение, 1985. – 464с.
133. Маталин, А. А. Технология механической обработки / А. А. Маталин. – Ленинград : Машиностроение, 1977. – 464с.
134. Серебряков, В. И. Материализация схем базирования заготовок установочными элементами // Машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. 18 ; под ред. И. П. Филонова / В. И. Серебряков. – Минск : УП «Технопринт», 2002. – С.156 – 160.
135. Ракович, А. Г. Основы автоматизации проектирования технологических приспособлений / А. Г. Ракович ; под ред. Е. А. Стародетко. – Минск : Наука и техника, 1985. – 285с.
136. Автоматизация проектирования ТП и средств оснащения / под ред. А. Г. Раковича. – Минск : Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1997. – 276с.
137. Байор, Б. Н. О развитии методологии базирования / Б. Н. Байор // СТИН, 2000, № 3, С. 24 – 26.

138. Емельянов, В. Н. О разработке теоретических схем базирования / В. Н. Емельянов // СТИН, 2002, № 1. – С.32 – 34.
139. Технология машиностроения: В2т. : учеб. для вузов. Т.1 : Основы технологии машиностроения / В. М. Бурцев [и др. ] ; под ред. А. М. Дальского. – Москва : Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 1997. – 564с.
140. Колыбенко, Е. И. Системные знания теории базирования в машиностроении / Е. И. Колыбенко // Вестник машиностроения, 2004, №6. – с. 58 – 62.
141. Колыбенко, Е. И. Системные знания теории базирования в машиностроении // Вестник машиностроения / Е. И. Колыбенко, 2005, №10,11.
142. Технологические основы гибких производственных систем : учеб. для машиностроит. спец. вузов / В. А. Медведев [и др. ] ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. – Москва : Высшая школа, 2000. – 255с.
143. Абрамов, Ф. Н. О разработке терминологии базирования в машиностроении / Ф. Н. Абрамов // Вестник машиностроения, 2006, №2. – с. 67 – 72.
144. Абрамов, Ф. Н. О классификации терминов базирования / Ф. Н. Абрамов // Вестник машиностроения, 2006, №3. – с. 56 – 61.
145. Голимбиевский А. И. Основы системологии способ формообразующей обработки в машиностроении / А. И. Голимбиевский ; под ред. Петрова В. А. – Минск : Наука и техника, 1986. – 168с.
146. Клевцов В. А. Базирование в проблеме разработки АСТПП / Технологические исследования и разработки в системах автоматизированного проектирования / В. А. Клевцов [и др. ]. – Владивосток, 1980. – С. 32 – 43.
147. Махаринский Е. И. Базирование и базы при механической обработке / Сборник научных трудов ВГТУ / Е. И. Махаринский, Б. Н. Сухиненко. – Витебск : ВГТУ, 1995. – С. 13-14
148. Балакшин, Б. С. Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. – Москва : Машиностроение, 1966. – 556с.
149. Базров Б. М. Выбор баз для установки сменных элементов системы СПИД / Б. М. Базров // СТИН, 1982, № 5, С. 24.
150. Проектирование технологии : учебн. для вузов / И. М. Баранчукова [и др. ] ; под ред. Ю. Б. Соломенцева. – Москва : Машиностроение, 1990. – 416с.
151. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / И.П. Филонов [и др. ] ; под общ. ред. И. П. Филонова. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – 910с.
152. Беляков, Н. В. Методика формализованного проектирования схем базирования, схем установки и маршрута обработки заготовок корпусных деталей машин : научное издание / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский. – Витебск : УО «ВГТУ», 2004. – 39с.
153. Махаринский, Е. И. Методика синтеза индивидуальных технологических процессов изготовления корпусных деталей машин / Е. И. Махаринский, Н. В. Беляков // Вестник машиностроения , №2, 2005. – С. 57 –65.
154. Махаринский, Е. И., Махаринский Ю. Е., Беляков Н.В. О теории базирования при механической обработке / Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский, Н. В. Беляков // СТИН, 2005, № 4. – С. 29 – 32.
155. Беляков Н. В. Формализация синтеза технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей машин / Н. В. Беляков // Материалы, технологии, инструменты, 2006, № 4. – С. 32-38.
156. Беляков Н. В. Погрешность теоретической схемы установки // Вестник Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Девятый выпуск / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский. – Витебск : УО «ВГТУ» 2005. – С. 72 – 77.

157. Бе́ляков Н. В. Направление развития теории базирования / Н. В. Бе́ляков, Е. И. Маха́ринский, Ю. Е. Маха́ринский // Вестник Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Пятый выпуск. – Витебск : УО «ВГТУ», 2003. – С. 54 – 59.

158. Бе́ляков Н. В. Формализация процедур проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей машин / Н. В. Бе́ляков // Вестник Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Шестой выпуск. – Витебск : УО «ВГТУ», 2004. – С. 63 – 69.

159. Бе́ляков Н. В. Методика разработки схем базирования / Н. В. Бе́ляков, Е. И. Маха́ринский // Вестник Витебского государственного технологического университета. Четвертый выпуск. – Витебск : УО «ВГТУ», 2002. – С. 38 – 43.

160. Бе́ляков Н.В., Жемчужный М.И., Маха́ринский Е.И. Достаточность задания допусков относительных поворотов на чертежах корпусных деталей и проблема синтеза схем базирования // Н. В. Бе́ляков, М. И. Жемчужный, Е. И. Маха́ринский // Веснік ВДУ, 2002, №3(25). С. 118 – 123.

161. Бе́ляков Н. В. Алгоритм формирования маршрута обработки типовых компонентов деталей машин / Н. В. Бе́ляков // Молодежь и наука на пороге 3 тысячелетия. Мозырь : МГПИ им. Н.К. Крупской, 2001. – с.5-9.

162. Бе́ляков Н. В., Маха́ринский Е.И. Методика проектирования индивидуального маршрута обработки заготовок корпусных деталей внутри этапов типовой схемы обработки / Н. В. Бе́ляков, Е. И. Маха́ринский // Машиностроение: сб. научн. трудов. Вып. 20 ; под ред. И. П. Фи́лонова. – Минск : УП «Технопринт», 2004.

163. Бе́ляков Н.В., Маха́ринский Е.И. Понятие теории базирования при механической обработке / Н. В. Бе́ляков, Е. И. Маха́ринский // Машиностроение: сб. научн. трудов. Вып. 19 ; под ред. И. П. Фи́лонова.– Минск : УП «Технопринт», 2003. – с. 7-12.

164. Бе́ляков Н.В. Синтез схем установки заготовок корпусных деталей машин / Н. В. Бе́ляков, Е. И. Маха́ринский, Ю. Е. Маха́ринский // Машиностроение: сб. научн. трудов. Вып. 18 ; под ред. И. П. Фи́лонова.– Минск : УП «Технопринт», 2002.– с. 98-104.

165. Бе́ляков Н. В., Маха́ринский Е. И. Синтез маршрута обработки корпусных деталей машин / Н. В. Бе́ляков, Е. И. Маха́ринский // Машиностроение : сб. научн. трудов. Вып. 18 ; под ред. И. П. Фи́лонова. – Минск : УП «Технопринт», 2002. – с. 93-98.

166. Бе́ляков Н. В., Маха́ринский Е. И. Формализация проектирования схемы базирования заготовок корпусных деталей машин / Н. В. Бе́ляков, Е. И. Маха́ринский // Машиностроение : сб. научн. трудов. Вып. 17 ; под ред. И. П. Фи́лонова. – Минск : УП «Технопринт», 2001. – с. 97 – 101.

167. Бе́ляков Н. В. Теоретико-множественные модели процедур проектирования ТП обработки корпусных деталей / Н. В. Бе́ляков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы респ. науч.-техн. конф. – Могилев : ГУ ВПО «Белорусско-российский университет», 2005. – С. 21.

168. Бе́ляков Н. В. Классификация технологических регламентов обработки комплексных функциональных модулей / Н. В. Бе́ляков // Сборник статей VII Республиканской научной конференции студентов и аспирантов (НИРС-2002) / УО «ВГТУ».– Витебск, 2002. – С. 257 – 259.

169. Бе́ляков Н. В., Маха́ринский Е.И. Проблема сбережения ресурсов на стадии проектирования технологии изготовления корпусных деталей машин / Н. В. Бе́ляков, Е. И. Маха́ринский // Ресурсо- и энергосберегающие технологии промышленного производства. Материалы международной научно-технической конференции. Ноябрь 2003 г. Часть I. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2003. – С. 38 – 45.

170. Бе́ляков Н. В. Забе́жинский А.К. Маха́ринский Ю.Е. Методика структурного синтеза теоретических схем установки заготовок корпусных деталей машин / Н. В. Бе́ляков, А. К. Забе́жинский, Е. И. Маха́ринский // Сборник материалов III международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и магистрантов.– Гомель : Учреждение образова-

ния «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», 2003. – С. 22 – 25.

171. Бебяков Н. В., Махаринский Е.И. Технологические регламенты обработки функциональных модулей корпусных деталей / Н. В. Бебяков, Е. И. Махаринский // Рефераты докладов международной научно-технической конференции. В 2-х томах. Том I. / Под редакцией Б.М. Хрусталева – Минск : УП «Технопринт», 2003.– С.223.

172. Бебяков Н. В. Информационная модель геометрической формы корпусных деталей машин / Н. В. Бебяков // VI Республиканская научная конференция студентов и аспирантов Беларуси «НИРС-2001». Тезисы докладов. В2-х частях. Часть I / УО «ВГУ им. П.М. Машерова» / Ред. кол.: Г.И. Михасев (гл. ред.). – Витебск : Изд-во ВГУ им. П. М. Машерова. – С.102 – 104.

173. Бебяков Н. В. Методика построения графов размерных связей корпусных деталей машин с плоскостью симметрии / Н. В. Бебяков // VIII Республиканская научная конференция студентов и аспирантов Беларуси «НИРС-2003». Тезисы докладов. В 7-ми частях. Часть I. Транспорт и машиностроение / БНТУ Ред. кол.: Б.М. Хрусталева [и др. ]. – Минск : Изд-во БНТУ. – С. 173 – 174.

174. Бебяков Н. В. Алгоритм синтеза установочных компонентов при механической обработке корпусных деталей / Н. В. Бебяков // Тезисы докладов 35 научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск : УО «ВГТУ», 2002. – с. 31-32.

175. Бебяков Н. В. Современные САД/САМ системы и проблема формализации синтеза схемы установки заготовок корпусных деталей машин в серийном производстве / Н. В. Бебяков, Е. И. Махаринский // Тезисы докладов 34 научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск: УО ВГТУ, 2001. – С.43.

176. Бебяков Н. В., Погребняк Ю. С. Обеспечение точности базирования при обработке корпусных деталей машин / Н. В. Бебяков, Ю. С. Погребняк // Материалы докладов и сообщений 8 студенческой научной конференции в 2-х частях. Ч.1. – Мозырь : МГПИ им. Крупской, 2001. – с. 57 – 59.

177. Бебяков Н. В. Формализованная методика оценки адекватности спроектированного технологического процесса механической обработки корпусных деталей / Н. В. Бебяков // Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества: материалы VIII международной научно-методической конференции. Ч. 1. – Минск : ЗАО «Современные знания», 2005.– С 56 – 60.

178. Бебяков Н. В., Саланенко И. В. Автоматизация оценки спроектированного технологического процесса механической обработки корпусных деталей / Н. В. Бебяков, И. В. Саланенко // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях. VIII Республиканская научная конференция студентов и аспирантов [материалы] / редкол.: Д. Г. Лиин [и др.].– Гомель : Изд-во ГГУим. Ф. Скорины, 2005.– С. 119-120.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**БЕЛЯКОВ** Николай Владимирович  
**МАХАРИНСКИЙ** Ефим Ильич  
**МАХАРИНСКИЙ** Юрий Ефимович

Редактор Угольников А.А.  
Компьютерная верстка Беляков Н.В.  
Технический редактор Герасимова О.С.

---

Подписано к печати	Формат	60x84 1/16	Усл. печ. лист	Уч.-изд. лист
Печать ризографическая.	Тираж	экз.	Заказ №	

---

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

Лицензия №02330/0133005 от 1 апреля 2004г.

---

210035 Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72