

На правах рукописи

Макойо Махди

**Повышение эффективности проектирования  
технологий изготовления деталей**

Специальность 05.02.08 – «технология машиностроения».

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург  
2002

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном  
техническом университете.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

доктор технических наук,  
профессор Никитков Н. В.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор технических наук,  
профессор Панкратов Ю. М.

кандидат технических наук,  
доцент Лудыков В. В.

ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ –

ЗАО «ГЕЙЗЕР»  
(ОАО Кировский завод)

Защита диссертации состоится \_\_\_\_\_ 2002 года в \_\_\_\_\_ часов  
на заседании диссертационного Совета Д212.229.26 при Санкт-Петербургском  
государственном техническом университете, по адресу: 195251, Санкт-  
Петербург, Политехническая улица 29, 1 корп., 411 ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке Санкт-  
Петербургского государственного технического университета.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2002 года.

Ученый секретарь  
диссертационного Совета

В. Н. Тисенко

### **Общая характеристика работы**

В диссертации представлены результаты исследований, связанные с повышением эффективности автоматизированного проектирования технологий изготовления деталей инструментального производства в системе САПР ТП «PROject».

#### **Актуальность работы.**

Процесс освоения, изготовления и модернизации изделия новой техники связан с большим объемом работ по технологической подготовке производства. В настоящее время на предприятиях существует проблема подготовки производства выпуска новых изделий в сжатые сроки. Особенно относится к предприятиям с серийным или единичным типом производства, выпускающих, например, штампы и пресс-формы для различных деталей со сложными формами контуров (2-5D).

Разработка, внедрение и адаптация систем автоматизированного проектирования позволяет существенно сократить цикл, снизить трудоемкость и повысить качество технологической подготовки производства.

Внедрение вычислительной техники требует больших средств, поэтому необходим комплексный подход к решению задачи ТПП – проектирования технологии, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ, нормирования трудоемкости изготовления деталей, расчета основных и вспомогательных материалов, передачи необходимых технологических данных в АСУ предприятия и т. д. От автоматизированных систем ТПП требуется, чтобы они выполняли проектирование и нормирование технологических процессов одновременно по всем производствам на предприятии – начиная от заготовительного, механообрабатывающего цехов и кончая сборочными.

В силу качественного отличия технологических процессов для различных производств, многообразия существующих подход к проектированию технологических процессов, разнообразия обрабатываемых деталей, отличий парка оборудования, установленного на различных предприятиях, тиражируемая САПР технологических процессов должна обладать высокой адаптируемостью к условиям конкретного предприятия. Для успешного внедрения от комплексной САПР ТП требуется наличие информационно открытой системы, адаптация которой осуществляется в основном силами специалистов – технологов предприятия. При этом для технологов должна быть обеспечена возможность вводить в систему свои знания и накопленный опыт о разнообразных методах проектирования технологических процессов. Для существующих технологических САПР в настоящее время отсутствует теоретически и экспериментально обоснованная методика их адаптации, которая существенно упростила бы работу технолога.

#### **Цель работы.**

Повышение эффективности автоматизированного проектирования технологий изготовления деталей в технологической САПР, например, «PROject».

**Основные задачи исследования.**

1. Установить наилучший соответствующий структуре САПР «PROject» способ моделирования технологического процесса.
2. Разработать унифицированные технологические процессы механической обработки деталей инструментального производства – штампов и пресс-форм.
3. Разработать математические модели для реализации цели исследования.
4. Разработать методику адаптации системы «PROject» для любого вида производства.
5. Сопоставить технологические процессы изготовления деталей, взятых с завода: действующие заводские технологические процессы и спроектированные в системе «PROject» с использованием моделей.

**Методы исследования.**

При выполнении диссертации использовались основные положения технологии машиностроения, теории матриц, теории графов и теории логики.

**На защиту выносятся:**

Теоретические и экспериментальные исследования в области создания моделей и алгоритмов для адаптации САПР ТП, повышения эффективности автоматизированного проектирования ТП и разработанная на основе этих исследований методика адаптации, внедренная в промышленность.

**Научная новизна.**

1. Получены математические модели унифицированных технологических процессов на комплексные детали штампов или пресс-форм, разработанные на основе булевых матриц, графически интерпретированных графами, на дуги которых наложены логические условия для автоматизированного выбора типовой технологии на конкретную деталь.
2. Созданы системы логических уравнений и функций, полученные на основе графов УТП, для создания программ опроса технолога в диалоге с целью формирования структуры маршрута ТТП детали и внесения её в БД системы «PROject».

**Практическая ценность и реализация работы.**

1. Разработанные модели УТП позволяют повысить производительность труда технолога при адаптации САПР «PROject» и тем самым сократить сроки технологической подготовки производства (ТПП) к выпуску новых изделий.
2. Адаптированная САПР «PROject» позволяет снизить себестоимость спроектированных ТП изготовления деталей.
3. Разработанная методика адаптации САПР «PROject» позволяет приспособить её к условиям любого завода.

**Апробация работы.**

Основные положения работы и её отдельных частей доложены на международных научно-технических конференциях «Современные методы и средства линейных и угловых измерений», г. Санкт-Петербург 2000г.; Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах», г. Санкт-Петербург 2001г.

**Публикации.**

По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ.

**Структура и объем работы.**

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы (120 наименований) и приложений, включает 90 страниц печатного текста, 22 таблиц и 16 рисунков.

**Основное содержание работы**

**Введение.** Во введении обоснована актуальность темы, ее практическая значимость, определены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** сделан обзор САПР на рынке программных продуктов. В трудах ученых Г. К. Горанского, Н. М. Капустина, С. П. Митрофанова, В. В. Павлова, В. Д. Цветкова, Б. Е. Челищева и других были заложены научные основы автоматизированного проектирования ТП механической обработки. Однако вопросам представления информации, необходимой для адаптации технологических САПР к конкретному заводу уделялось недостаточно внимания. Проанализированы предметно-ориентированные САПР ТП типа TechCARD, КОМПАС, СПРУТ, «PROject» и т. д., их достоинства и недостатки, принципы построения технологического маршрута обработки в них. Рассмотрены методы построения математических моделей технологии, используемые для адаптации САПР ТП к любому производству с целью повышения проектирования ТП на ЗВМ. Установлено отсутствие научно-обоснованных методик адаптации технологических САПР к любому виду производства. На основе выполненного анализа были сформированы цели и задачи исследования.

**Во второй главе** изложена методика исследования. Описаны структуры и методы создания матриц для математического моделирования ТП механической обработки. Для описания метода построения моделей ТП в системе «PROject» с целью её адаптации к инструментальному производству был выбран аппарат булевых матриц, использование которого имеют следующие достоинства: хорошо стыкуется информация, гибкость, компактность и т. д. С целью концентрации технологической информации ТП

изготовления детали представляется как унифицированный технологический процесс (УТП – это ТП содержащий ТТП или ГТП для одной или нескольких комплексных деталей разных габаритов и материалов при различных серийности производства), математическая модель, которого описывается булевой матрицей. Для создания модели УТП сначала для комплексной детали разрабатываются маршрутно-операционные УТП, после этого создаются матрицы элементов УТП: технологические переходы (Т), оборудование – станки (О), приспособление (П), поверхности базирования и закрепления (Б+З), режущие инструменты (РИ) и мерительные инструменты (МИ). В этих матрицах строки являются технологическими операциями или переходами, а столбцы – вариантами ТТП, например, ТТП для единичного или серийного типа производства. Ниже приведен пример таких матриц: матрица технологических переходов:

$$T = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & \cdot & \cdot & T_{1j} \\ T_{21} & T_{22} & \cdot & \cdot & T_{2j} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ T_{i1} & T_{i2} & \cdot & \cdot & T_{ij} \end{bmatrix} \quad (1)$$

где

$T_{ij}$  - элементы матрицы, которые являются кодами технологических Переходов, выбранными из системы «ПРОЕКТ» или ГОСТов.

$1 \dots i$  - номер строки матрицы, который может соответствовать технологической операции или технологическому переходу.

$1 \dots j$  – номер столбца, который может соответствовать варианту ТП.

Матрицы остальных элементов УТП аналогичны матрице (1)

После создания матриц элементов УТП, совершается их сложение, чтобы получить общую матрицу УТП с элементами ТТП.  $ТП_{ij} = T_{ij} + O_{ij} + П_{ij} + К(Б+З)_{ij} + РИ_{ij} + МИ_{ij}$  (каждый элемент  $ТП_{ij}$  общей матрицы УТП является суммой соответствующих элементов: технологических переходов  $T_{ij}$ , станков  $O_{ij}$ , приспособлений  $П_{ij}$ , методов базирования и закрепления  $(Б+З)_{ij}$ , режущих инструментов  $РИ_{ij}$  и мерительных инструментов  $МИ_{ij}$ ) в виде:

$$УТП = \begin{bmatrix} ТП_{11} & ТП_{12} & \cdot & \cdot & ТП_{1j} \\ ТП_{21} & ТП_{22} & \cdot & \cdot & ТП_{2j} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ ТП_{i1} & ТП_{i2} & \cdot & \cdot & ТП_{ij} \end{bmatrix} \quad (2)$$

После создания математических моделей УТП в виде булевых матриц, для их графической интерпретации применяется алгоритм в виде граф-дерева с вершинами и дугами; вершины: первый уровень – деталь (заготовка), второй уровень – тип производства, третий уровень – материал детали, четвертый уровень – размер детали и т. д. а дуги – условия логического перехода из верхней в нижнюю вершину.

Технологу на основе профессиональных знаний легко написать для каждой ветви графа логические функции  $F_j$ , при выполнении которых логические уравнения  $Y = 1$ , а при невыполнении  $Y = 0$ . Совокупность логических функции является основой написания программ выбора ТП.

**Третья глава** посвящена созданию математических моделей ТП в виде булевых матриц и алгоритмов проектирования ТП в виде графов с логическими условиями, а также систем логических уравнений и функций для адаптации системы «PROject» применительно к инструментальному производству или к любому виду производства. На рынке программных продуктов есть САПР ТП, например, T-FLEX, КОМПАС, TechCARD, PROject и другие, содержащие базы данных, которые технологам необходимо адаптировать для своего завода. Эта задача трудна для технологов, ибо требуются модели, алгоритмы или принципы адаптации. При адаптации системы решаются задачи пополнения баз данных типовыми и групповыми технологиями, оборудованием, оснащением и т. д., корректировка взаимосвязей между массивами, если она необходима, и ввод новых разработанных типовых и групповых технологий для деталей инструментального производства.

### ***1. Создание математических моделей ТП***

В качестве математической модели УТП предложены булевы матрицы, построенные так, чтобы содержать специально ориентированную для САПР информацию. После анализа деталей штампов и пресс-форм, заводских чертежей, классификаторов деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ были получены чертежи комплексных деталей (рис.1, 2 и 3), содержащие различные контуры, которые могут присутствовать на поверхностях этих деталей. С целью концентрации технологической информации в математической модели использовали унифицированные технологические процессы (УТП), содержащие несколько типовых и групповых технологических процессов (ТПП и ГТП), разработанных на комплексные детали разных материалов, габаритных размеров, серийности с применением прогрессивного оборудования. Математическая модель УТП представлена в виде матрицы, в которой столбцами являются варианты ТПП, а строками - технологические переходы. В этих матрицах каждая строка (переход) описана шестью технологическими параметрами как логическая сумма кода технологического перехода ( $T_{ij}$ ), кода станка ( $O_{ij}$ ), кода приспособления ( $P_{ij}$ ), кода метода и поверхностей базирования и закрепления  $K_{ij}(B+3)_{ij}$ , кода режущих инструментов ( $PI_{ij}$ ) и кода мерительных инструментов ( $MI_{ij}$ ):

$$УТП_{ij} = T_{ij} + O_{ij} + П_{ij} + K_{ij} (Б+З)_{ij} + РИ_{ij} + МИ_{ij} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{16} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} \end{vmatrix} \quad (3)$$

где

$a_{ij}$  – элементы булевой матрицы, имеющие значения 0 или 1.

$УТП_{ij}$  – матрица унифицированного технологического процесса изготовления детали.

$i$  – номер строки или число операций в УТП;

$j$  – номер столбца ( $j = 6$  в рассматриваемом случае) или число технологических факторов, необходимых для проектирования ТП;

В качестве примера представлена булева матрица УТП (табл. 1) плиты (рис. 2). Булевы матрицы для деталей (рис. 1 и 3) даны в диссертации. В табл. 1 в строках указаны для пояснения матрицы номера операций и переходов, а в столбцах варианты  $ТП_1, ТП_2 \dots \dots ТП_j$  соответственно, как части матрицы  $УТП_{ij}$ .

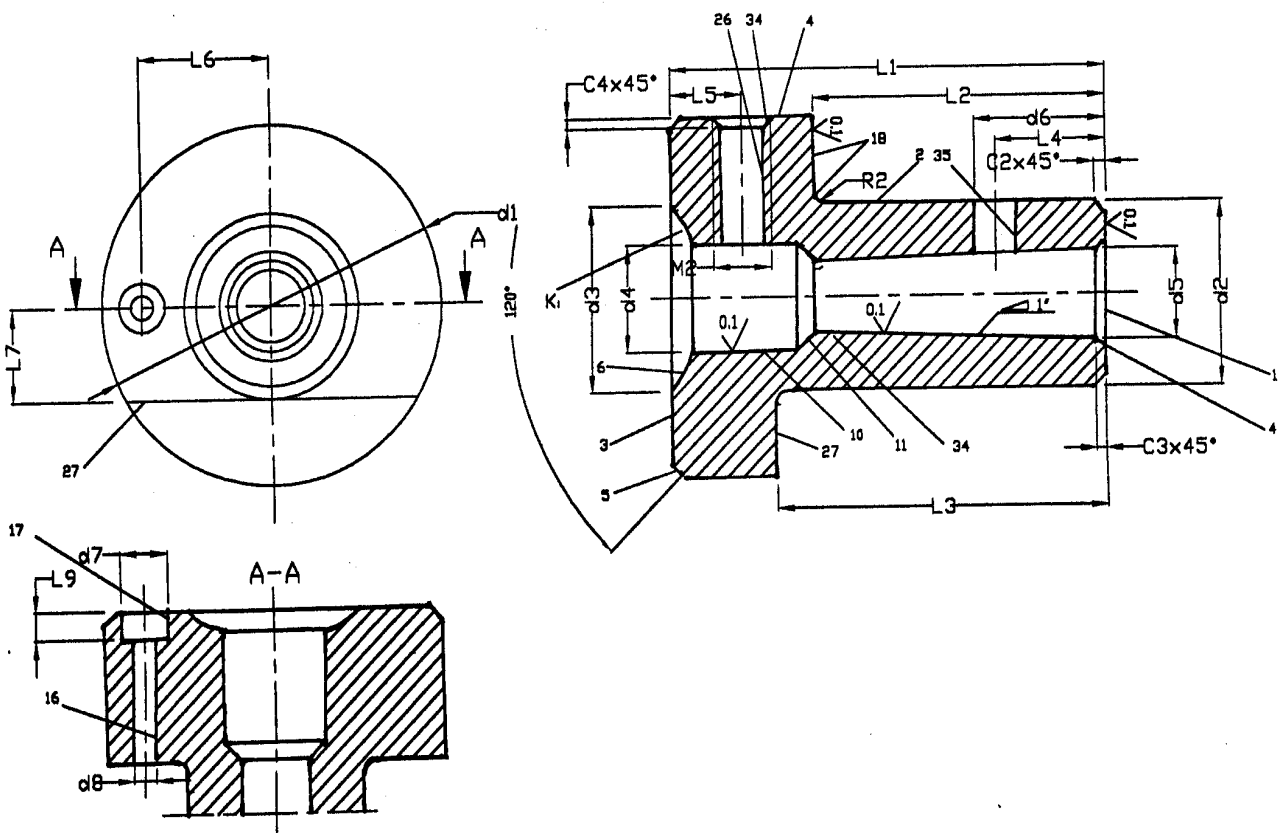


Рис.1. Комплексная деталь - вал-втулка  
(варианты контуров  $K_i$  не приведены)



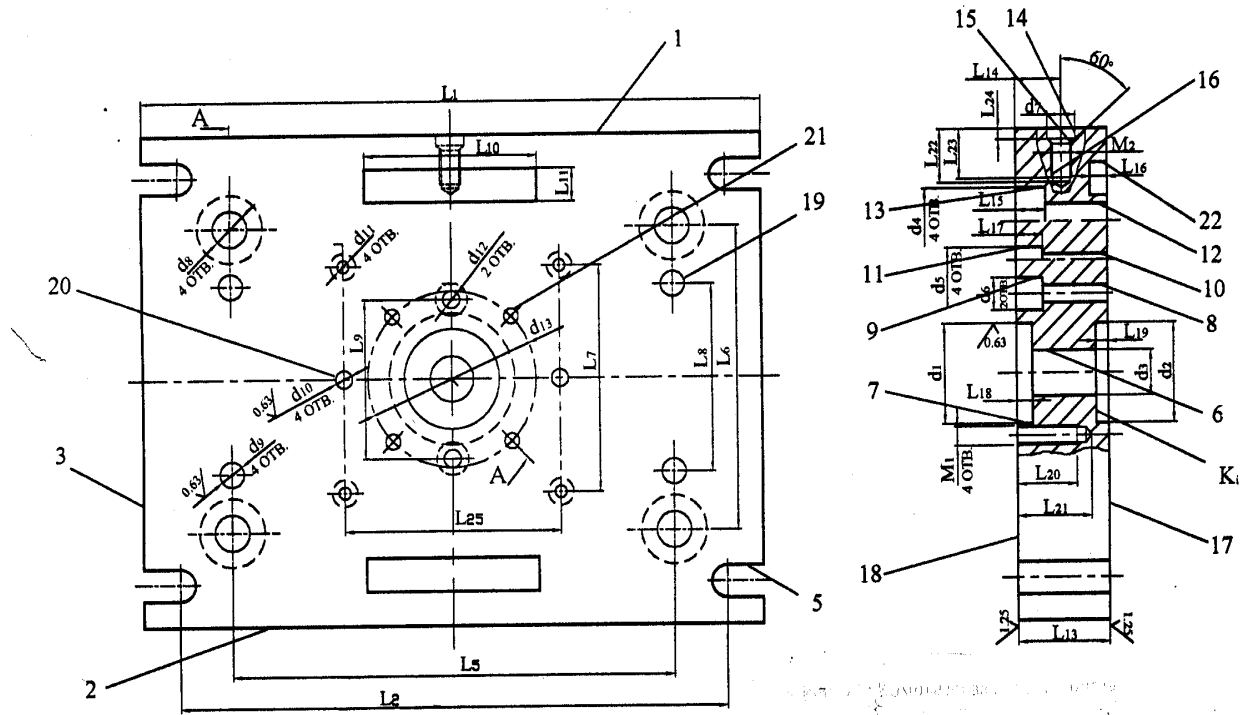


Рис. 2. Комплексная деталь – плита  
(варианты контуров  $K_i$  не приведены)

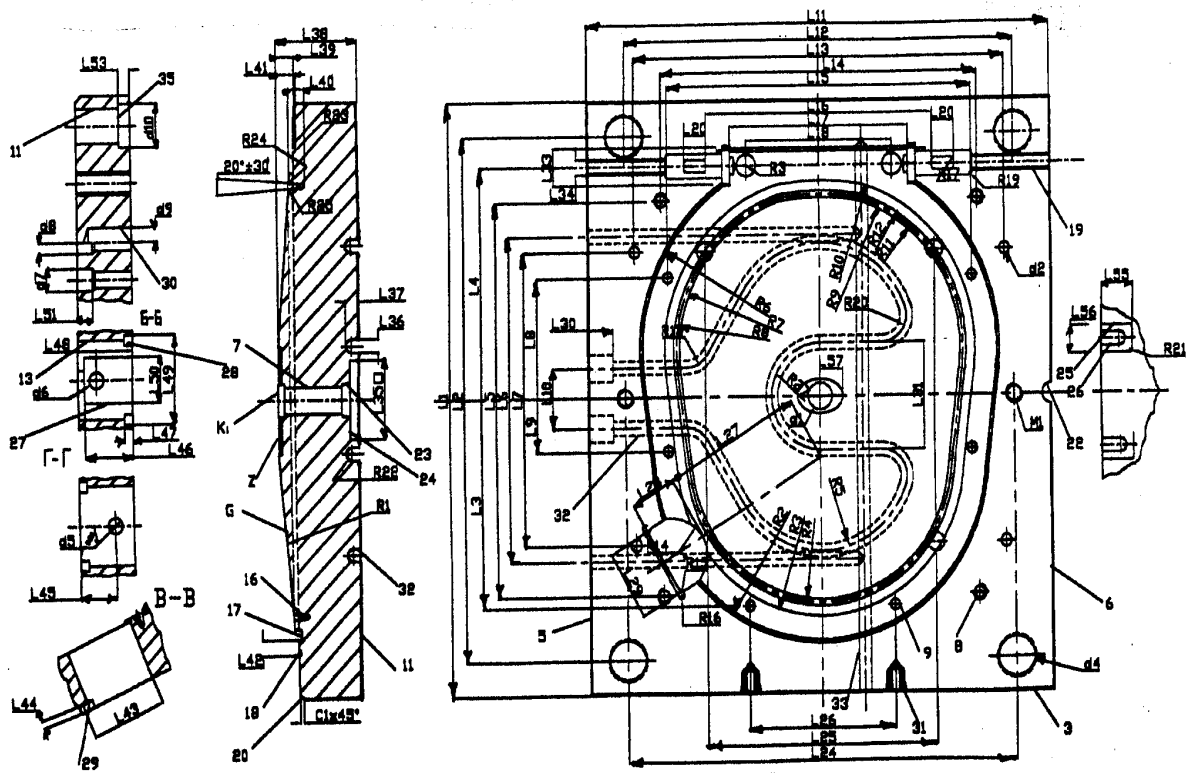


Рис. 3. Комплексная деталь – матрица (пуансон)  
(варианты контуров  $K_i$  не приведены)

ТТП1			...	
наименование детали		материал	размер	⋮
плита		сталь	L x B x H < 400 мм	⋮
№ опер.	№ пере.	ТТП=Т <sub>ij</sub> +О <sub>ij</sub> +П <sub>ij</sub> +Б <sub>ij</sub> +З <sub>ij</sub> +РИ <sub>ij</sub> +МИ <sub>ij</sub> = (a <sub>11</sub> a <sub>12</sub> a <sub>13</sub> a <sub>14</sub> a <sub>15</sub> a <sub>16</sub> a <sub>17</sub> .....)		⋮
05	1	1134122 + Установка газовой резки КОМЕТА 2,5 ПП Лц 2,5-0-1 + 0 + 0 + 0 + 0		⋮
10	1	2103111 + Вертикально-фрезерный станок 6520МФ3 + Тиски 7200-0209-01 ГОСТ 14904-80 +1(17 Λ 3 Λ 2 + 4 Λ 1) + 0 + 0		⋮
	2	1112121(18) + 6520МФ3+ Тиски 7200-0209-01 ГОСТ 14904-80+ 1(17 Λ 3 Λ 2 + 4 Λ 1) +Торцевая фреза 2214-0341 ГОСТ 1092-80+ штангенциркуль ЦЦ-11-250-0,1 ГОСТ 166-89		⋮
	3	2103111+ 6520МФ3 + Тиски 7200-0209-01 ГОСТ 14904-80 + 1(18 Λ 3 Λ 2 + 1 Λ 4) + 0 + 0		⋮
	4	1112121(17)+ 6520МФ3+ тиски 7200-0209-01 ГОСТ 14904-80+ 1(18 Λ 3 Λ 2 + 1 Λ 4)+ +торцевая фреза 2214-0341 ГОСТ 1092-80 + штангенциркуль ЦЦ-11-250-0,1 ГОСТ 166-89		⋮
	5	2103111 + 6520МФ3+ тиски 7200-0209-01 ГОСТ 14904-80 +1(18 Λ 3 Λ 2 + 4 Λ 17) + 0 + 0		⋮
...	...	.....		⋮
85	1	125+ Моечная Машина ЛИ 9984-459 + 0 + 0 + 0 + 0		⋮
90	2	200+ Координатная Измерительная Машина ВЗ-М121608А + 0 + 0 + 0 + 0		⋮

Продолжение *Таблицы 1*

...			ТТП6		
...			наименование детали	материал	размер
...			плита	сплавы алюминия	400мм < L x B x H < 800мм
...			№ опер.	№ пере.	ТТП=Т <sub>ij</sub> +О <sub>ij</sub> +П <sub>ij</sub> +Б <sub>ij</sub> +З <sub>ij</sub> +РИ <sub>ij</sub> +МИ <sub>ij</sub> = ( a <sub>136</sub> a <sub>137</sub> a <sub>138</sub> a <sub>139</sub> a <sub>140</sub> a <sub>141</sub> a <sub>142</sub> .....)
...			05	1	1100+ Формовочная машина 233-М + 0 + 0 + 0 + 0
...			10	1	2103111+ Продольно-фрезерный станок РФП2А-1 + УСП + 20(17 Л 3 Л 2 + 4 Л 1) + 0 + 0
...				2	1112121(18) + РФП2А-1 + УСП + 20(17 Л 3 Л 2 + 4 Л 1) + торцевая фреза 2214-0319 ГОСТ 9473-80 + штангенциркуль ЩЦ-11-250-0,1 ГОСТ 166-89
...				3	2103111 + РФП2А-1 + УСП+ 20(2 Л 3 Л 18 + 1Л 4) + 0 + 0
...				4	1112121(17) + РФП2А-1 + УСП + 20(2 Л 3 Л 18 + 1Л 4) + торцевая фреза 2214-0319 ГОСТ 9473-80 + штангенциркуль ЩЦ-11-250-0,1 ГОСТ 166-89
...				5	2103111 + 6А59 + УСП + 20(2 Л 3 Л 18 + 4 Л 17) + 0 + 0
...			...	...	.....
...			85	1	125+ Моечная машина ЛИ 9984-459 + 0 + 0 + 0 + 0
...			90	2	200+ Координатная измерительная машина ВЗ-М121608А + 0 + 0 + 0 + 0

Пример заполнения «заголовка ВИД»

Таблица 2

Корректировка реквизитов заголовка документов ВИД									
Обозначение детали		КТМ 500			Номер документа Вид			900004	
Код АСУП Гр.0		Наименование детали (узла) Гр.4				Масса Гр.5		D (B) Гр.6	
72678400000000000000		ВАЛ - ВТУЛКА				5.0		35	
Длина Гр.8	Высота Гр.9	Наименование и обозначение материала Гр.10				Код материала Гр.11			
100.0	0	Сталь 40X13 ГОСТ 4784-65				103			
Наименование и обозначение заготовки Гр.12				Код Гр.13	D (B) Гр.14	Длина Гр.15		Высота Гр.16	
ПРУТОК КРУГЛЫЙ 45 ГОСТ 21488-76				310	45	110		0	
Кол.дет. Гр.17	Норма. расх. Гр.18	Доп.р-р Гр.19	Пр-ма Гр.20	КС1и2 Гр.21	Цех Уч. Гр.22	Разраб. Гр.23	Квал. Гр.27	Шерох. Ра Гр.28	Прз. компл. Гр.24
1	0.59	0.0	0	0	0	11121	14	12,5	0

Ведомость исходных данных (ВИД)

Таблица 3

Редактирование строк ВИД											
00	№ строки	1	46	Основ. р-р		00	№ строки	2	46	Основ. р-р	
25	Приз. стр.	Г	47	Пос-ка		25	Приз. стр.	Г	47	Пос-ка	
26	№ совок.		48	Код точн.		26	№ совок.		48	Код точн.	
27	Код совок.		49	Осн. р-р ВО		27	Код совок.		49	Осн. р-р ВО	
28	Кол. совок.		50	Осн. р-р НО		28	Кол. совок.		50	Осн. р-р НО	
29	№ комбин.		51	Шероховат.		29	№ комбин.		51	Шероховат.	
30	Код комб.		52	Код свар.		30	Код комб.		52	Код свар.	
31	Кол. комб.		53	Код станд.		31	Кол. комб.		53	Код станд.	
32	№ поверх.		54	Код св. мат.		32	№ поверх.		54	Код св. мат.	
33	Код пов.	2112111	55	Ф. св. мат.		33	Код пов.	2112111	55	Ф. св. мат.	
34	Кол. пов.		56	Коэф. увел.		34	Кол. пов.		56	Коэф. увел.	
35	Доп. свед.		57	Ст. распол.		35	Доп. свед.		57	Ст. распол.	
36	Р-р дл. св.	800	58	Ст. доступ.		36	Р-р дл. св.	800	58	Ст. доступ.	
37	Угол град.		59	Код базир.	2	37	Угол град.		59	Код базир.	2
38	Угол мин.		60	Сп. Инс.		38	Угол мин.		60	Сп. Инс.	
39	Угол ВО м		61	Резерв		39	Угол ВО м		61	Резерв	
40	Угол НО м		62	Резерв		40	Угол НО м		62	Резерв	
41	Тех. треб.		63	№ компл.	1	41	Тех. треб.		63	№ компл.	1
42	№ пов. отс.		64	Точн. ТУ		42	№ пов. отс.		64	Точн. ТУ	
43	Коорд. р-р		65	Шерох. ТУ		43	Коорд. р-р		65	Шерох. ТУ	
44	Кр. р-р ВО		66	№ связи		44	Кр. р-р ВО		66	№ связи	
45	Кр. р-р НО		67	Длина обр.		45	Кр. р-р НО		67	Длина обр.	
			68	Припуск					68	Припуск	

Булева матрица (табл. 1) используется технологом как информационная модель для заполнения таблицы ведомости исходных данных (ВИД) (табл. 3) при разработке нового технологического процесса на деталь или заполнения баз данных (Fox Pro) по оборудованию, оснащению в системе «PROject».

Например, в таблице 3 выделены параметры, вносимые технологом при заполнении таблицы ВИД. В позицию 33 вносится код поверхности, равный коду перехода в булевых матрицах, в позицию 36 ставится код станка, под которым он внесен в базу станков, в позицию 59 – код приспособления, в позицию 63 комплект базовых поверхностей и т. д. остальные позиции (табл. 3) не составляют трудности для технолога и заполняются им на основе профессионального опыта. Заполняя на все поверхности комплексной детали таблицы ВИД и передавая эти данные в систему проектирования структуры операции, получают последовательно ТТП<sub>1</sub>, ТТП<sub>2</sub>.....ТТП<sub>j</sub> и в целом УТП. В системе «PROject» имеется программа формирования кода АСУП – много разрядного числа 7267840000000 (табл. 2), формируемого из ответов технолога в диалоге на вопросы: серийность производства, материал заготовки, габариты и профиль заготовки, твердость материала, шероховатость поверхности и т. д. Код АСУП является номером ТТП, под которым он помещается в БД «PROject».

## **2. Создание алгоритмов проектирования ТП.**

Сведения из булевых матриц используются для разработки алгоритма - методики адаптации системы «PROject» применительно к конкретному виду производства. Алгоритм - методика адаптации системы создана в виде графа-дерева, вершинами которого являются операции обработки заготовки, а дуги – логические условия перехода от одной операции к другой. На рис. 4 в качестве примера приведен граф с логическими условиями Э<sub>j</sub> изготовления любых деталей, вписывающихся в геометрию комплексной детали (плита) штампов и пресс-форм. Подобные графы приведены для деталей типа тела вращения, матрицы и пуансоны в диссертации. На основе этих граф-дерев были составлены системы логических уравнений и функций выбора ТТП из УТП:

- В качестве примера приведены логические уравнения и функции к графу-дереву обработки комплексной детали «плита» (рис. 4):

$\mathcal{E}_1 = 1$ , если  $f_1 = (\text{материал детали} \in \text{сталь}) \wedge (\text{габаритный наибольший размер} \leq 400\text{мм})$ , иначе  $\mathcal{E}_1 = 0$ .

$\mathcal{E}_2 = 1$ , если  $f_2 = (\text{материал детали} \in \text{сталь}) \wedge (400\text{мм} < \text{габаритный наибольший размер} \leq 800\text{мм})$ , иначе  $\mathcal{E}_2 = 0$ .

$\mathcal{E}_3 = 1$ , если  $f_3 = (\text{материал детали} \in \text{чугун}) \wedge (\text{габаритный наибольший размер} \leq 400\text{мм})$ , иначе  $\mathcal{E}_3 = 0$ .

$\mathcal{E}_4 = 1$ , если  $f_4 = (\text{материал детали} \in \text{чугун}) \wedge (400\text{мм} < \text{габаритный наибольший размер} \leq 800\text{мм})$ , иначе  $\mathcal{E}_4 = 0$ .

$\mathcal{E}_5 = 1$ , если  $f_5 = (\text{материал детали} \in \text{сплав алюминия}) \wedge (\text{габаритный наибольший размер} \leq 400\text{мм})$ , иначе  $\mathcal{E}_5 = 0$ .

$\mathcal{E}_6 = 1$ , если  $f_6 = (\text{материал детали} \in \text{сплав алюминия}) \wedge (400\text{мм} < \text{габаритный наибольший размер} \leq 800\text{мм})$ , иначе  $\mathcal{E}_6 = 0$ .

$\mathcal{E}_7 = 1 \vee \mathcal{E}_{11} = 1 \vee \mathcal{E}_{14} = 1 \vee \mathcal{E}_{17} = 1$ , если  $f_7(f_{11}, f_{14}, f_{17}) = (\text{производство} \in \text{единичное}) \wedge (\text{заготовка} \in \text{прокат листовой})$ , иначе  $\mathcal{E}_7 = \mathcal{E}_{11} = \mathcal{E}_{14} = \mathcal{E}_{17} = 0$ .

$\mathcal{E}_8 = 1 \vee \mathcal{E}_{15} = 1$ , если  $f_8(f_{15}) = (\text{производство} \in \text{серийное}) \wedge (\text{заготовка} \in \text{штамповка})$ , иначе  $\mathcal{E}_8 = \mathcal{E}_{15} = 0$ .

$\mathcal{E}_9 = 1 \vee \mathcal{E}_{10} = 1 \vee \mathcal{E}_{12} = 1 \vee \mathcal{E}_{13} = 1 \vee \mathcal{E}_{16} = 1 \vee \mathcal{E}_{18} = 1$ , если  $f_9(f_{10}, f_{12}, f_{13}, f_{16}, f_{18}) = (\text{производство} \in \text{серийное}) \wedge (\text{заготовка} \in \text{литье})$ , иначе  $\mathcal{E}_9 = \mathcal{E}_{10} = \mathcal{E}_{12} = \mathcal{E}_{13} = \mathcal{E}_{16} = \mathcal{E}_{18} = 0$ .

$\mathcal{E}_{19} = 1$ , если  $f_{19} = (\text{материал детали} \in \text{сталь}) \wedge (\text{габаритный наибольший размер} \leq 400\text{мм}) \wedge (\text{припуск на обработку} > 0,5\text{мм})$ , иначе  $\mathcal{E}_{19} = 0$ .

$\mathcal{E}_{20} = 1$ , если  $f_{20} = (\text{материал детали} \in \text{сталь}) \wedge (400\text{мм} < \text{габаритный наибольший размер} \leq 800\text{мм}) \wedge (\text{припуск на обработку} > 0,5\text{мм})$ , иначе  $\mathcal{E}_{20} = 0$ .

$\mathcal{E}_{21} = 1$ , если  $f_{21} = (\text{материал детали} \in \text{чугун}) \wedge (\text{припуск на обработку} > 0,5\text{мм})$ , иначе  $\mathcal{E}_{21} = 0$ .

$\mathcal{E}_{22} = 1$ , если  $f_{22} = (\text{материал детали} \in \text{сталь} \vee \text{сплав алюминия}) \wedge (\text{припуск на обработку} > 0,5\text{мм})$ , иначе  $\mathcal{E}_{22} = 0$ .

.....  
 .....

$\mathcal{E}_{51} = 1$ , если  $f_{51} = (\text{специфические поверхности, необрабатываемые на станке} \in \text{деталь})$ , иначе  $\mathcal{E}_{51} = 0$ .

$\mathcal{E}_{52} = 1 \vee \mathcal{E}_{53} = 1$ , если  $f_{52}(f_{53}) = (\text{шероховатость поверхностей детали } Ra \leq 0,1\text{мкм})$ , иначе  $\mathcal{E}_{52} = 0 \vee \mathcal{E}_{53} = 0$ .

$\mathcal{E}_{54} = 1$ , если  $f_{54} = (\text{шероховатость поверхностей детали } Ra \leq 0,1\text{мкм} \wedge \text{точность размеров } IT < 6)$ , иначе  $\mathcal{E}_{54} = 0$ .

$\mathcal{E}_{55} = 1$ , если  $f_{55} = (\text{шлифование} \vee \text{полирование} \vee \text{СОЖ} \vee \text{электроэрозионная обработка} \in \text{техпроцессу})$ , иначе  $\mathcal{E}_{55} = 0$ .

$\mathcal{E}_{56} = 1$ , если  $f_{56} = (\text{количество контролируемых деталей} > 0\%)$ , иначе  $\mathcal{E}_{56} = 0$ .

Совокупность логических функций и уравнений является основой написания программы выбора ТП из баз данных ТТП системы «PROject». Программист использует их, чтобы создать программу под WINDOWS опроса технолога и в зависимости от ответов технолога на вопросы в окнах WINDOWS согласно логическим функциям определяются:

- ветви графа, у которых  $\gamma_i, \mathcal{E}_j, X_k = 0$  или  $\gamma_i, \mathcal{E}_j, X_k = 1$ , где  $\gamma_i, X_k$  – соответственно для тела вращения, матрицы (пуансона).

- автоматически формируется структура ТТП.

На основе разработанных булевых матриц, графов УТП, систем логических уравнений и программ автоматизированного получения ТТП создана методика адаптации системы «PROject» к любому виду производства.

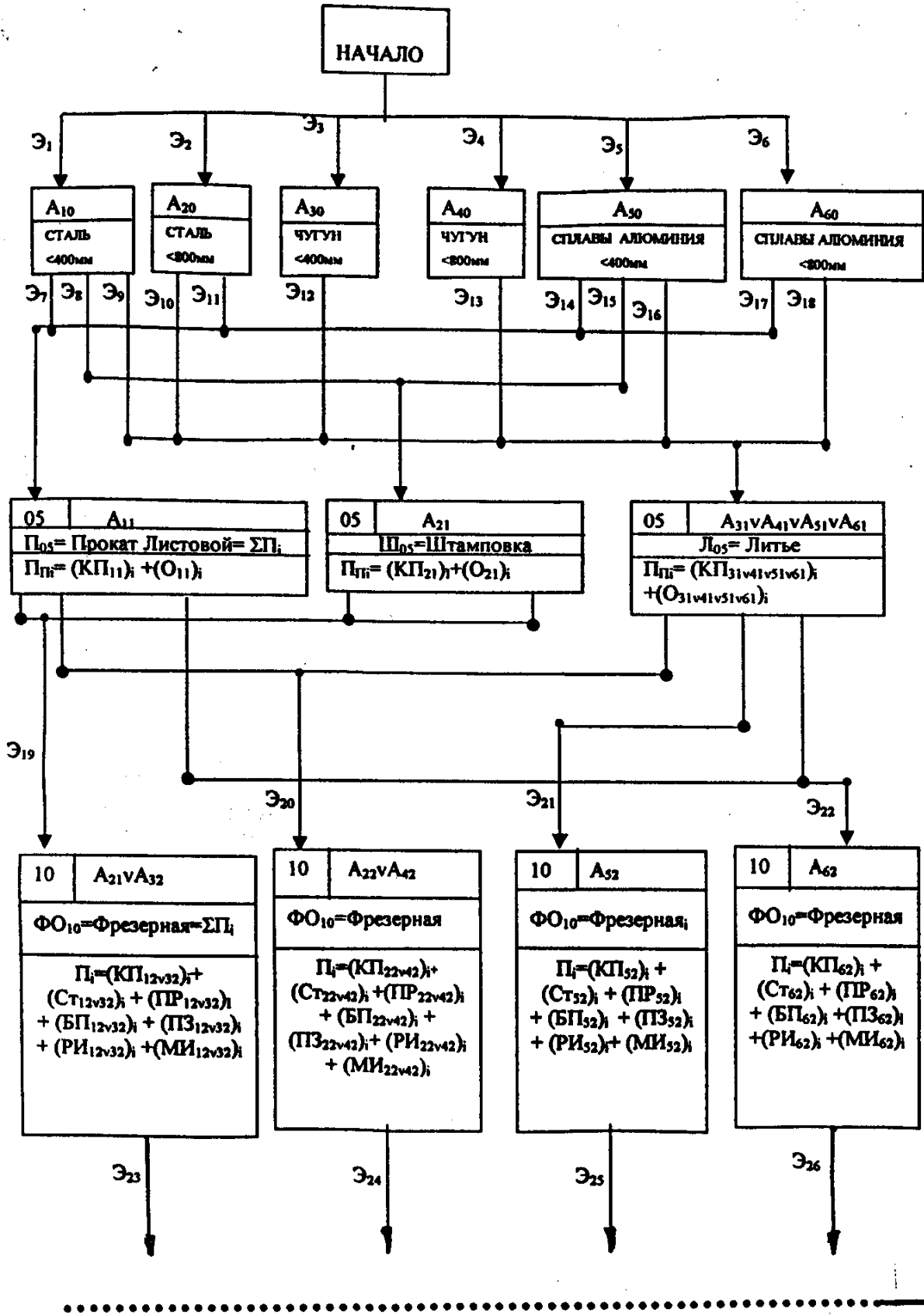


Рис. 4. Граф-дерево УТП на комплексную деталь «плита»

Продолжение рис. 4

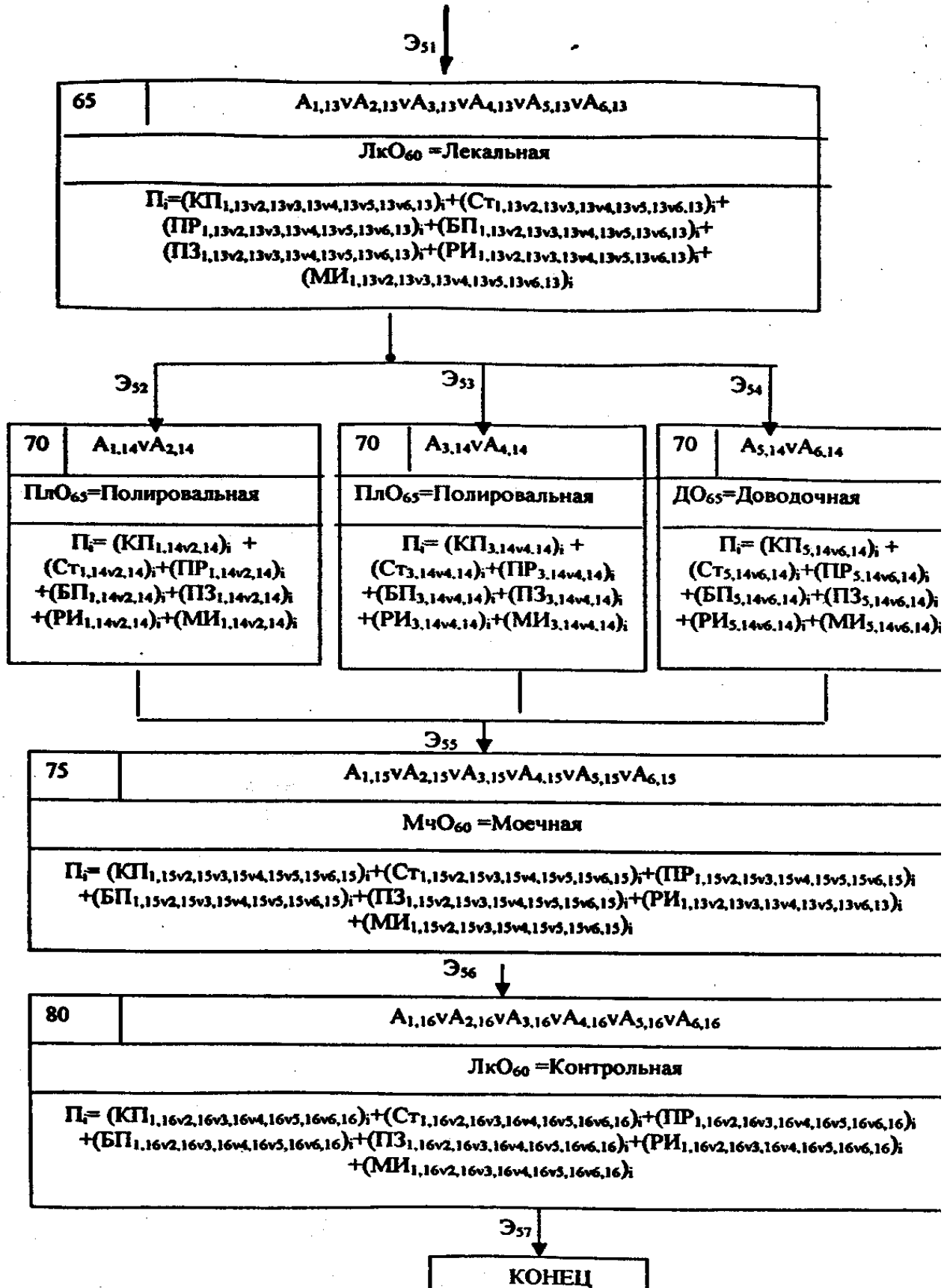


Рис. 4



**Четвертая глава** посвящена экспериментальному исследованию адаптированной системы «PROject». Сущность эксперимента состояла в сопоставлении разработанных вручную ТП и ТП, разработанных в адаптированной системе «PROject» на детали представители штампов и пресс-форм. Для этого были получены детали – пуансон и матрица пресс-формы «корпус часов» (рис. 5) из «ОАО ПРОГРЕСС» г. Санкт-Петербург и заводская (ручная) маршрутная технология их изготовления, которая приведена ниже:

05. Заготовительная. Материал ХВГ, 140x110x80.

10. Фрезерная. Фрезеровать 6 плоскостей.

15. Плоскошлифовальная. Шлифовать базовые поверхности.

60. Слесарная. Полировать согласно чертежа.

65. Контрольная.

Для той же детали была спроектирована технология в адаптированной системе «PROject» и была получена маршрутно-операционная технология (табл. 4). Она длиннее (05, 10...95) по сравнению с заводской технологией (05, 10...65), так как создана технологической САПР «PROject» на основе УПП.

Сопоставление двух технологий, разработанных для инструментального производства, ручной и автоматизированной, можно сделать следующие выводы: оба варианта подобны и технически правильные; технология разработана в адаптированной системы «PROject» обладает полнотой информации по переходам, инструменту, оснащению и режимам обработки по сравнению с ручной, из чего следует правильность выбора типа математических моделей ТП.

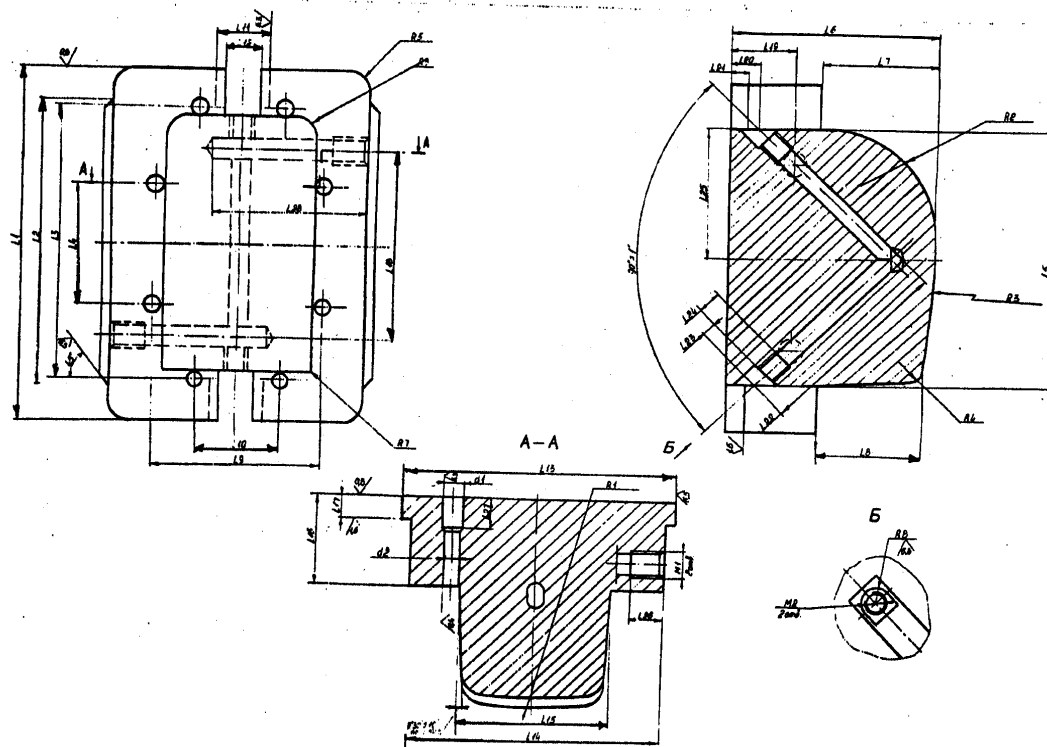


Рис. 5. Пуансон пресс-формы «корпус часов»



**Пятая глава** посвящена анализу экономической эффективности проектирования технологий в адаптированной системе «PROject». Экономический эффект от адаптации системы к инструментальному производству определяется по методике:

$$\text{Э}_{\text{год}} = C_{\text{тек1}} - C_{\text{тек2}} - (E_n \cdot K_{\text{сум}})$$

где  $C_{\text{тек1}}$  – текущие затраты по ручному варианту, руб.

$C_{\text{тек2}}$  - текущие затраты по адаптированному варианту, руб.

$E_n$  - нормативный коэффициент.

$K_{\text{сум}}$  - суммарное капитальное вложение на адаптацию системы, руб.

Проектирование технологий в адаптированной системе экономически целесообразно так как годовой экономический эффект от внедрения адаптированной САПР составляет 21281,75 руб., хотя и требует дополнительных капитальных вложений в размере 80195 руб. При этом текущие затраты в новом варианте снижаются приблизительно в 2,4 раза, а срок окупаемости равен 1,6 года.

### **Заключение и выводы**

1. Из присутствующих на российском рынке САПР ТП наиболее полно обеспечивает запросы технологов российская САПР ТП «PROject». Она позволяет осуществлять проектирование структур ТП, расчет режимов резания, норм времени, распределять документы по цехам, разделять изделия на узлы и вычислять нормы времени, калькуляцию на изготовление этого заказа.
2. Из рассмотренных методов построения математических моделей ТП наиболее пригодны для развития и адаптации технологических САПР являются модели в виде булевых матриц, содержащих все элементы технологии. Метод кодирования деталей в САПР «PROject» [таблицы ВИД (таб. 5) и таблицы заголовка ВИД (таб. 4)] хорошо согласуется со структурой булевых матриц.
3. Разработаны математические модели в виде булевых матриц унифицированных технологических процессов (УТП) для основных комплексных деталей штампов и пресс форм. Они содержат концентрированную и организованную по форме информацию для системы «PROject», необходимую для ее адаптации применительно к инструментальному производству.  
Булевы матрицы позволили существенно упростить заполнение баз данных технологических переходов (СМС-6), металлорежущих станков (СМС-2), приспособлений (СМС-4), режущих и вспомогательных инструментов (СМС-7), измерительных инструментов (СМС-8), что повысило эффективность труда технолога при адаптации САПР «PROject».

Матрицы обеспечивают возможность осмысленного и рационального назначения альтернативных аналогов технологических переходов, станков, приспособлений, и т. п., введения их в базы данных для изготовления оригинальных деталей, встречающихся в штампах, пресс формах и других типах изделий.

4. На основе булевых матриц построены графы УТП, которые использованы для разработки системы логических уравнений и функций. Системы уравнений и функций необходимы для создания программ автоматизированного формирования ТТП для конкретных деталей или введения ТТП в базы данных «PROject».
5. Создана методика формирования для любых комплексных деталей (штампов, пресс форм и др. изделий) булевых матриц, графов УТП, систем логических уравнений, функций.
6. Предложены два метода создания булевых матриц:
  - опытный технолог в состоянии написать сразу всю матрицу в размерности  $УТП_{ij}$ , в которой в каждом  $j$ -ом столбце одинаковое число строк  $i$ . Для получения из этой матрицы таблиц технологических переходов, станков, приспособлений, поверхностей базирования, закрепления, РИ и МИ существуют типовые программы выделения столбцов  $ij$  в виде матриц - столбцов.
  - матрицу  $УТП_{ij}$  технолог создает путем составления и последующего сложения по известным правилам матриц – столбцов технологических переходов, станков, приспособлений, поверхностей базирования, закрепления, РИ и МИ в размерности  $УТП_{ij}$ .
7. Создана и апробирована методика адаптации системы «PROject» для инструментального производства, пригодная для любого вида производства.
8. Выполнено сопоставление технологий разработанных на Санкт-Петербургском ОАО ПРОГРЕСС вручную и автоматизированно в адаптированной автором системе «PROject», которое показало, что оба варианта принципиально подобные и технически правильные. Второй вариант (маршрутно-операционная технология) обладает полнотой технологической информации по сравнению с первым (маршрутной технологией) и в этом его преимущество.
9. Из п.8 следует, что адаптация системы «PROject» выполнена правильно. Это доказывает правильность выбора типа математических моделей – булевых матриц и сосредоточения в них нужной информации, использованной для адаптации - пополнения базы данных системы «PROject» унифицированными и типовыми технологическими процессами и технологическим оснащением.

10. Проектирование ТП в адаптированной системе «PROject» упрощает и механизмирует работу технологов, повышает объективность работы станочников и обеспечивает более высокое качество изготовления деталей штампов и пресс форм.
11. Автоматизация проектирования ТП в системе «PROject» экономически целесообразна, так как годовой экономический эффект составляет 21281,75 руб. на одно рабочее место технолога, хотя требует дополнительных капитальных вложений в размере 80195 руб. При этом текущие затраты на проектирование техпроцессов снижаются в ~ 2,4 раза, а срок окупаемости капитальных вложений составляет 1,6 года.

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:**

1. Махди М., Никитков Н.В., Адаптация технологической САПР «PROject» к условиям проектирования структуры техпроцессов механообработки деталей штампов и пресс-форм // Тезисы материалов V Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах». – С.-Петербург: СПбГТУ., 2001г. – С. 191.
2. Махди М., Никитков Н.В., Тенденция в мире обработки точных сложных контурных деталей, например, матриц пресс-форм и штампов // Информационный сборник для руководителей технологических служб предприятий радиоэлектронной, приборостроительной, машиностроительной промышленности. Материалы по тематике научно-практических семинаров, проведенных НТФ «Технокон» совместно с ОАО «Авангард» в 1999-2001г. – С. -Петербург. 2001г.
3. Махди М., Никитков Н.В., Проектирование структуры технологических процессов механообработки деталей штампов и пресс-форм // Металлообработка. – С.-Петербург.- № 6 –2001. –С.41-44
4. Махди М. Методика формирования математической модели технологических процессов изготовления деталей // IX Международная научно-методическая конференция «Высокие интеллектуальные технологии образования и науки» – С.-Петербург: СПбГТУ., Февраль, 2002г.
5. Махди М., Мартынов С.В. и Ковеленов Н. Ю. Прогрессивный технологический процесс обработки пуансона пресс-форм // Сборник научных трудов «Управление качеством: проблемы, исследование, опыт», выпуск 2, С – Петербург. 2002г. (статья принята к публикации).