

УДК 681.5

Е.А. Куликова, Т.Н. Гребнева

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАРШРУТА ОБРАБОТКИ  
КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ ТИПА ОЦ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрена методика формализации проектирования маршрута на примере корпусной детали на основе принципов модульной технологии и графов размерных связей.

*Ключевые слова:* модуль поверхностей, модуль обработки, граф размерных связей, информационная геометрическая модель детали, этапы обработки, базирующий модуль.

Недостаточность формального представления теоретических положений технологии машиностроения ясно обозначилась в ходе создания систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП). Преимущественное развитие получили системы, где проектирование осуществлялось на основе унифицированных (типовых или групповых) технологических процессов или их фрагментов. Методы проектирования были построены на поиске именно таких процессов и соответствующей их доработки.

Более универсальным является метод синтеза, предназначенный для проектирования технологических процессов на детали и сборочные единицы для любых изделий. В основе метода лежит положение о том, что процесс проектирования технологических процессов является многоуровневым и итерационным. Разработка теоретических основ, методик и программных продуктов синтеза проектных решений – актуальная задача, решение которой даст возможность повысить производительность труда в сфере подготовки производства корпусных деталей машин, а также повысить качество проектирования технологических процессов их изготовления.

В настоящей работе предлагаются структурные модели и методика синтеза технологического маршрута обработки на примере корпусной детали на станках типа обрабатывающий центр.

Синтез маршрута обработки детали включает следующие этапы:

- 1) анализ конструкторской информации, выделение и классификация поверхностей детали;
- 2) назначение методов и видов обработки поверхностей и распределение полученного набора переходов по этапам обработки;
- 3) выбор комплектов технологических баз для каждого технологического этапа и определение последовательности выполнения переходов внутри этапа.

**Анализ и преобразование конструкторской информации**

На первом этапе – анализ конструкторской информации – в соответствии с концепцией модульной технологии, предполагается выделение комплектов элементарных поверхностей, объединенных единым функциональным назначением, – модулей поверхностей (МП). На основании анализа чертежа детали и технической документации устанавливается служебное назначение каждой поверхности детали, которые затем объединяются в соответствующие МП [1]. Модуль поверхностей – это сочетание поверхностей, с помощью которого деталь выполняет соответствующую служебную функцию. Отличительной особенностью МП является то, что сочетание поверхностей, образующих модуль, не случайно, а является

необходимым для выполнения соответствующей функции. Отсюда вытекает главное достоинство МП - однозначность его формирования из числа поверхностей детали. По этому признаку любой грамотный конструктор или технолог безошибочно определит у любой детали модули поверхностей, из которых она состоит. Все МП делятся по служебному назначению на три класса [1]: четырнадцать базисных (МПБ); шесть рабочих (МНР) и шесть связующих (МПС). С помощью МПБ деталь базируется в машине или механизме, с помощью МНР деталь выполняет ту или иную рабочую функцию, например, передает крутящий момент, и с помощью МПС базисные и рабочие модули связываются в единое пространственное тело, образуя деталь.

Обозначение модуля включает букву, указывающую его вид, и цифры, обозначающие конструктивную разновидность модуля данного вида.

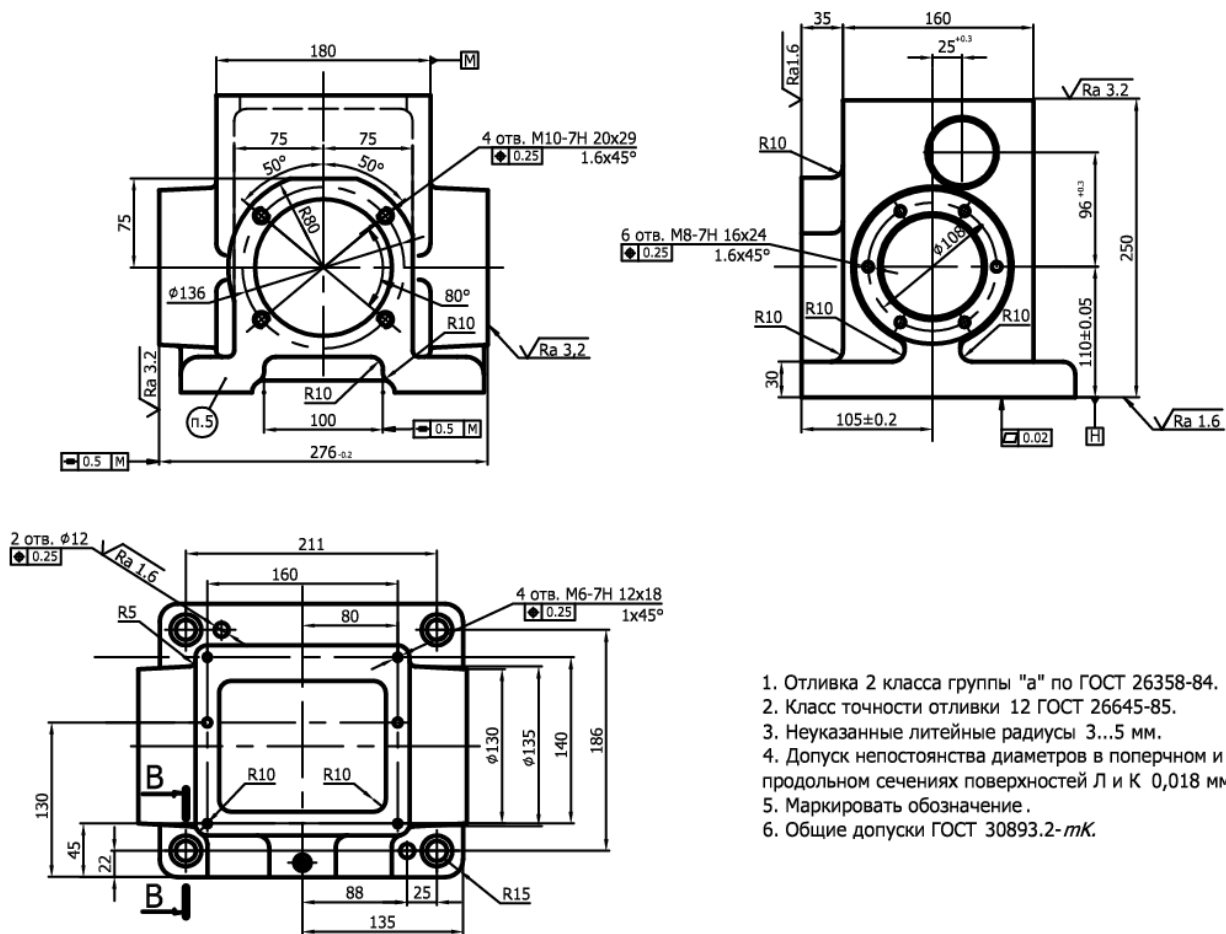


Рис. 1. Чертеж детали

Анализ особенностей обработки корпусных деталей показал, что к предложенной классификации модулей необходимо добавить понятие «крепежный» модуль (К), то есть сочетание неосновных поверхностей, обработка которых производится за один установ на одном этапе.

Информационная геометрическая модель (ИГМД) детали представляет собой эскиз детали, на котором показан ее контур с обозначением обрабатываемых МП и необрабатываемых, связанных с первыми размерами (рис. 2), граф размерных связей (рис. 3) и таблица-спецификация, в которой приводится перечень МП, составляющих деталь, МП конструкторских баз и шесть координирующих размеров, определяющих положение остальных МП (рис. 4).

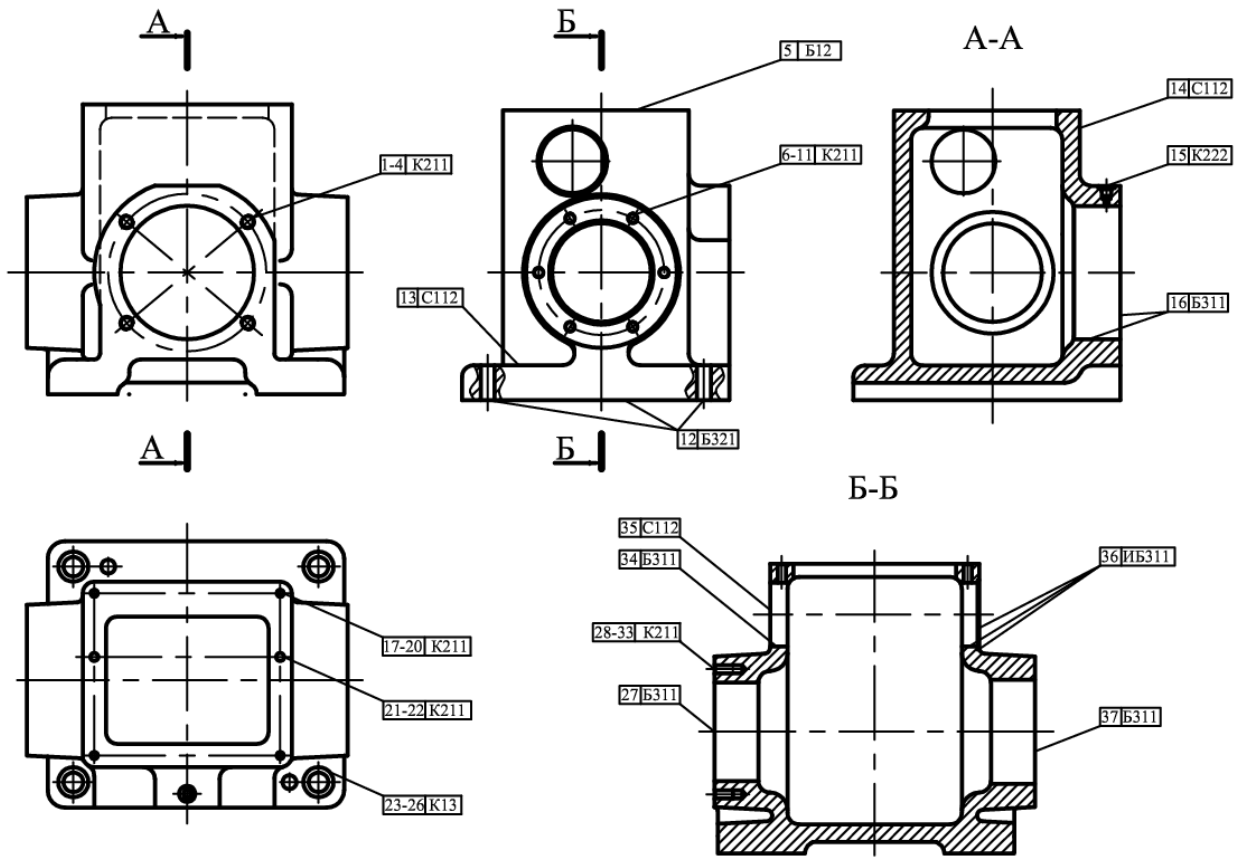


Рис. 2. Эскиз детали с нумерацией и обозначением кодов поверхностей

Построение конструкторского графа МП начинается с базирующего МП, выступающего в роли комплекта основных баз детали, которым является 12Б321, образованный плоскостью основания корпуса и двумя цилиндрическими отверстиями. На втором уровне размещаются МП, базой которых является МП12Б321. На третьем уровне размещаются МП, базой которых являются МП второго уровня, и т.д. до последнего МП. Каждый модуль поверхностей должен иметь свою координатную систему, ориентированную определенным образом относительно его поверхностей. В зависимости от положения МП на детали проекции осей его координатной системы относительно проекций чертежа детали могут занимать различное положение. Чтобы однозначно определить взаимное расположение МП относительно друг друга, координатную ось  $Z$  всегда совмещаем с осью отверстия (если отверстие отсутствует, то перпендикулярно плоскости  $XY$ ),  $\varphi$ ,  $\psi$ ,  $\theta$  определяют углы поворота вокруг осей оси  $OX$ ,  $OY$  и оси  $OZ$  соответственно.

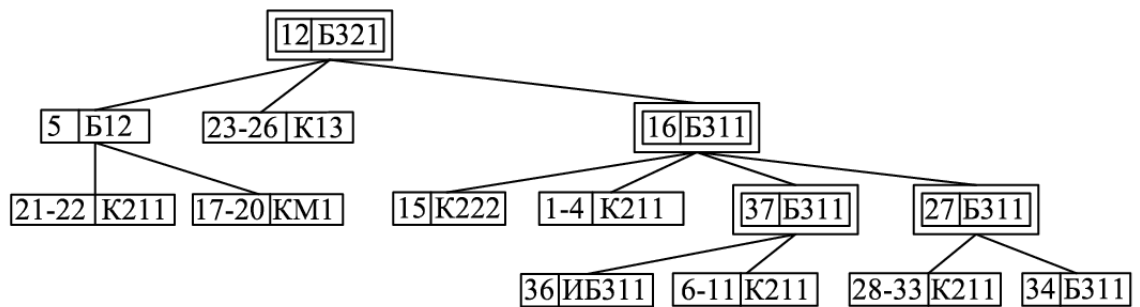


Рис. 3. Конструкторский граф

Таблица

Таблица-спецификация 1

№ и обозначение МП	Базовые МП	Настроечные базы	Параметры относительного положения МП					
			X, мм	Y, мм	Z, мм	$\varphi^\circ$	$\psi^\circ$	$\theta^\circ$
1-4К211	12Б321	16Б311	0	$\emptyset 136/2$	$\emptyset 136/2$	50	-	-
5 Б12	16Б311	12Б321	-	-	250	-	-	90
6-11К211	12Б321	31Б311	$\emptyset 108/2$	0	$\emptyset 108/2$	-	60	-
12Б321	16Б311		22	88	$110\pm 0,05$	-	-	90
13С112		12Б321	-	-	30	-	-	-
14С112		16Б311	35	-	-	-	-	-
15К222	16Б311		12	-	75	-	-	90
16Б311	12Б321		22	88	$110\pm 0,05$	-	-	90
17 К211	16Б311		45	80	-	-	-	90
18 К211	16Б311	17 К211	0	160	0	-	-	-
19 К211	16Б311	18 К211	140	0	0	-	-	-
20 К211	16Б311	19 К211	0	160	0	-	-	-
21 К211	16Б311		130	80	0	-	-	90
22 К211	16Б311	21К211	0	160	0	-	-	-
23К13	16Б311		0	25	$14\pm 0,5$	-	-	-
24К13	16Б311	23К13	0	211	0	-	-	-
25К13	16Б311	24К13	186	0	0	-	-	-
26К13	16Б311	25К13	0	211	0	-	-	-
27Б311	12Б321	16Б311	$105\pm 0,2$	$276/2$	0	-	-	90
28-33К211	12Б321	27Б311	$\emptyset 108/2$	0	$\emptyset 108/2$	-	60	-
34Б311	12Б321	27Б311	$25^{+0,3}$		$96^{+0,3}$	-	-	-
35С112		16Б311	-	90	-	-	-	-
36ИБ311	12Б321	37Б311	$25^{+0,3}$	$50^{+0,5}$	$96^{+0,3}$	-	-	-
37Б311	12Б321	16Б311	$105\pm 0,2$	$276/2$	0	-	-	90

### Формирование маршрута обработки МП

Данный этап включает в себя назначение модулей обработки (МО) для каждого МП, определение количества этапов обработки детали и распределение переходов МО по этапам.

Исходя из принципов модульной технологии каждому МП должен соответствовать свой модуль обработки (МО). Выбор конкретного МО зависит от конструкторско-технологических характеристик МП. Для формализации данного решения можно использовать алгоритмические таблицы. Пример алгоритмической таблицы выбора МО для МП К1 представлен в табл. 2, совокупность переходов по обработке МП – в табл. 3.

В алгоритмической таблице приняты специальные обозначения. Стандартный адрес перехода обозначен символом «.». Метка 10 является меткой подпрограммы, на которую производится выход из таблицы, если исходные данные не вписываются в предусмотренные интервалы условий применимости. Символ «—» означает безусловный переход к следующему столбцу данной строки. Если элемент таблицы  $r_{i+1,j}x_{i+1,j}(a_{i+1,j})$  полностью совпадает с элементом  $r_{ij}x_{ij}(a_{ij})$ , стоящим в данном столбце строкой выше, вместо элемента  $r_{i+1,j}x_{i+1,j}(a_{i+1,j})$  ставится символ «.».

С помощью табл. 3 определим МО для модулей К13.

Множество исходных данных запишется следующим образом:

$$U = \{K1, D_{\text{отв}}, IT, \text{допуск}\} = \{3, 17, 13, 0.25\}.$$

Обозначим через элемент таблицы. Тогда схема поиска:

$$a_{11} \rightarrow a_{91} \rightarrow a_{161} \rightarrow a_{162} \rightarrow a_{172} \rightarrow a_{173} \rightarrow a_{174} \rightarrow a_{185} \rightarrow \{13\}.$$

Итак, модулям 23-26К13 соответствует МО13.

Таблица 2

## Алгоритмическая таблица выбора МО для модуля К1

№ по порядку	Вид модуля К1	D <sub>отв</sub>	Квалитет (IT)	Допуск	МО
1	1 (9.1)	6 .	8 (6.3)	1.0 (10)	1
2	—	10 .	8 (6.3)	.	2
3	—	15 .	8 (6.3)	.	3
4	—	30 (10)	8 (7.3)	0.2 .	4
5	—	.	.	1.0 (10)	5
6	—	.	14 (10)	0.2 (8.5)	6
7	—	.	.	.	7
8	—	.	.	1.0 (10)	8
9	2(16.1)	6 .	8 (14.3)	1.0 (10)	1
10	—	10 .	8 (14.3)	.	2
11	—	15 .	8 (14.3)	.	3
12	—	30 (10)	8 (14.3)	0.2 .	9
13	—	.	.	1.0 (10)	10
14	—	.	14 (10)	0.2 .	6
15	—	.	.	1.0 (10)	11
16	3 (10)	15 .	14 (10)	.	12
17	—	30 (10)	.	0.2 .	12
18	—	.	.	1.0 (10)	13

Таблица 3

## Состав МО для модуля К1

№ МО	Переходы обработки отверстий, выполняемые инструментом				
	ЦЕНТР	СВ	РЗВР		
1	ЦЕНТР	СВ	РЗВР		
2	ЦЕНТР	СВ	РЗВР	РЗВР	
3	ЦЕНТР	СВ	ЗНКР	РЗВР	РЗВР
4	ЦЕНТР	СВ	ЗНКР	ФАСКА	РЗВР
5	СВ	ЗНКР	ФАСКА	РЗВР	РЗВР
6	ЦЕНТР	СВ			
7	ЦЕНТР	СВ	ФАСКА		
8	СВ	ФАСКА			
9	ЦЕНТР	СВ	ЗНКР	РЗВР	
10	СВ	ЗНКР	РЗВР	РЗВР	
11	СВ				
12	ЦЕНТР	СВ	ЦЕКВ		
13	СВ	ЦЕКВ			

*Примечание:* ЦЕНТР – центрование; СВ – сверление; ЗНКР – зенкерование; РЗВР – развертывание; Ф – обработка фаски; ЦЕКВ – цекование.

Подобные крепежные модули относятся к неосновным поверхностям и выполняются, как правило, на последнем этапе обработки с данной стороны детали. Обработка основных поверхностей, образующих МП, может производиться за различное количество этапов, и здесь целесообразно производить назначение элементарных модулей обработки (ЭМО) отдельно для основных отверстий и плоскостей, с параллельным их группированием по этапам в соответствии с алгоритмом (рис. 4).

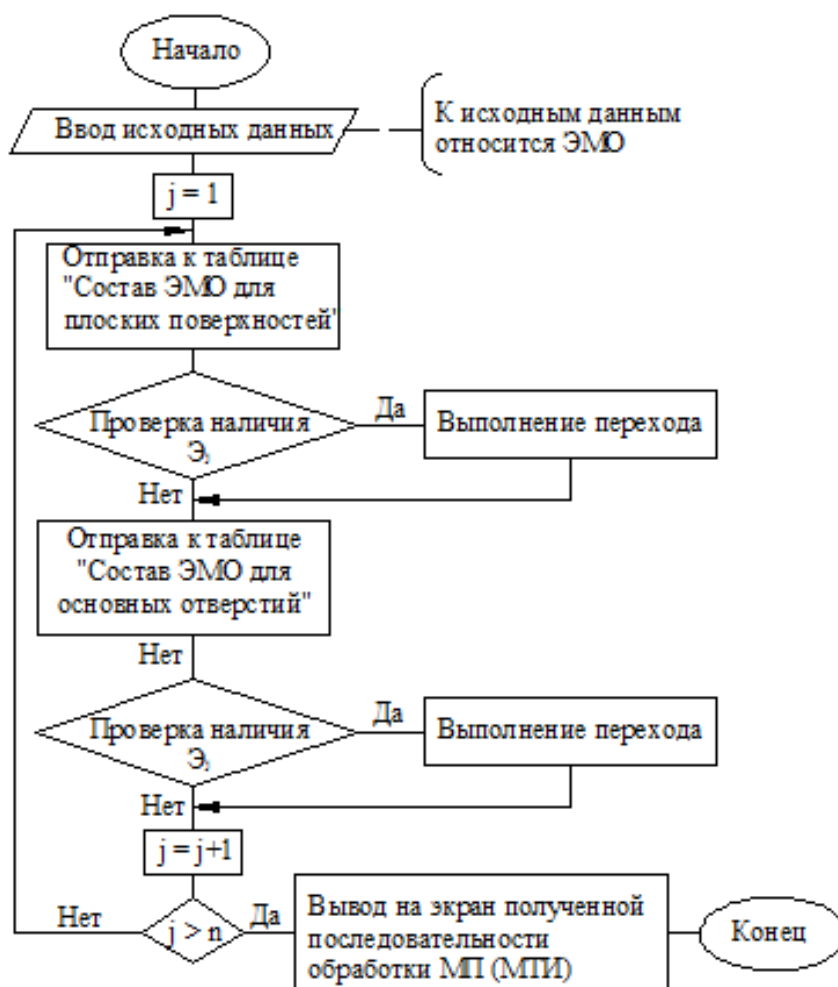


Рис. 4 . Алгоритм формирования интегрального технологического модуля для обработки MPI основных поверхностей

#### Формализация определения комплектов баз по этапам обработки

При построении ТП сначала выбирают модули технологические базовые (МТБ) для получения каждого MPI детали. Исходными данными для этой задачи служит граф размерных связей MPI детали. Граф строится для каждой из координатных осей. На графах исходные MPI, формообразование которых завершилось в процессе изготовления заготовки, отмечены овалом; MPI, которые являются конструкторскими базами, обведены двоянной линией. MPI, получаемые на рассматриваемой операции и операции обработки на предыдущем этапе – одной линией; пунктирной линией отмечены модули, отсутствующие в начале этапа и появляющиеся в результате его реализации. На лучах графа указываются координирующие размеры (рис. 5). Из графа размерных связей видно, что у нас есть четыре конструкторские базы (обведены двойной линией), поэтому технологические базы будем выбирать из них. Из конструкторского графа видно, что комплектом основных баз детали является модуль 12Б321 (находится в вершине графа), поэтому на этапе подготовки баз мы будем обрабатывать этот модуль и модули, которые связаны с ним размером и получение которых возможно при том же креплении заготовки.

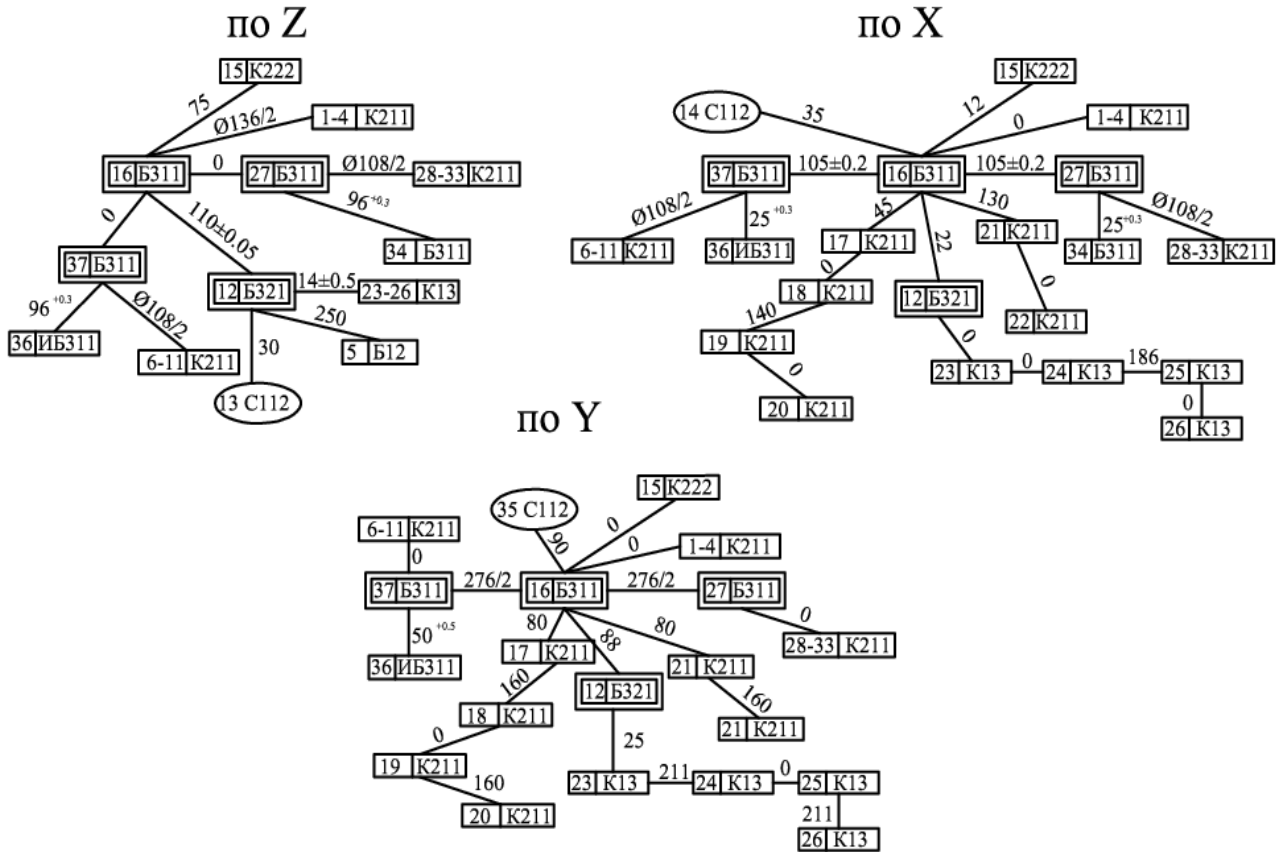


Рис. 5. Граф размерных связей модулей поверхностей детали

В качестве технологических баз на первой операции назначаются исходные (необрабатываемые на этом этапе, но обработанные на предыдущем) модули. На графах они имеют одну связь с обрабатываемыми поверхностями.

Как было отмечено, на подготовительном этапе мы обрабатываем модуль 12B321 и модули, получение которых возможно при том же креплении заготовки и которые связаны с этим модулем размерными связями.

Из графов (слайд) видно, что модуль 12B321 связан размером только с одной конструкторской базой (модуль 16B311). Так как модуль 16B311 является неполным комплектом баз, то для лишения заготовки всех степеней свободы необходимо выбрать еще один модуль. Следуя рекомендациям, выбираем необрабатываемый модуль, связанный размером с модулем 12B321. Это модуль 13C112.

При определении возможности обработки модулей группы следует использовать понятие настроечная база. Настроечная база используется в случаях, когда с одного установка требуется обработать несколько модулей, связанных размерами и (или) относительными поворотами. Один из них связан размером (относительным поворотом) с технологической базой. Именно этот модуль будет для другого обрабатываемого модуля настроечной базой.

Так как обработка ведется на ОЦ с горизонтальным шпинделем и поворотным столом, то, проанализировав графы и таблицу-спецификацию, где указано взаимное расположение модулей, можно сделать вывод, что на первой операции могут обрабатываться следующие модули: 12B321, 5B12 (модуль 12B321 является настроечной базой для модуля 5B12), причем за две позиции.

Для реализации определения порядка смены баз строятся графы размерных связей МП и проводится их анализ для всех этапов обработки.

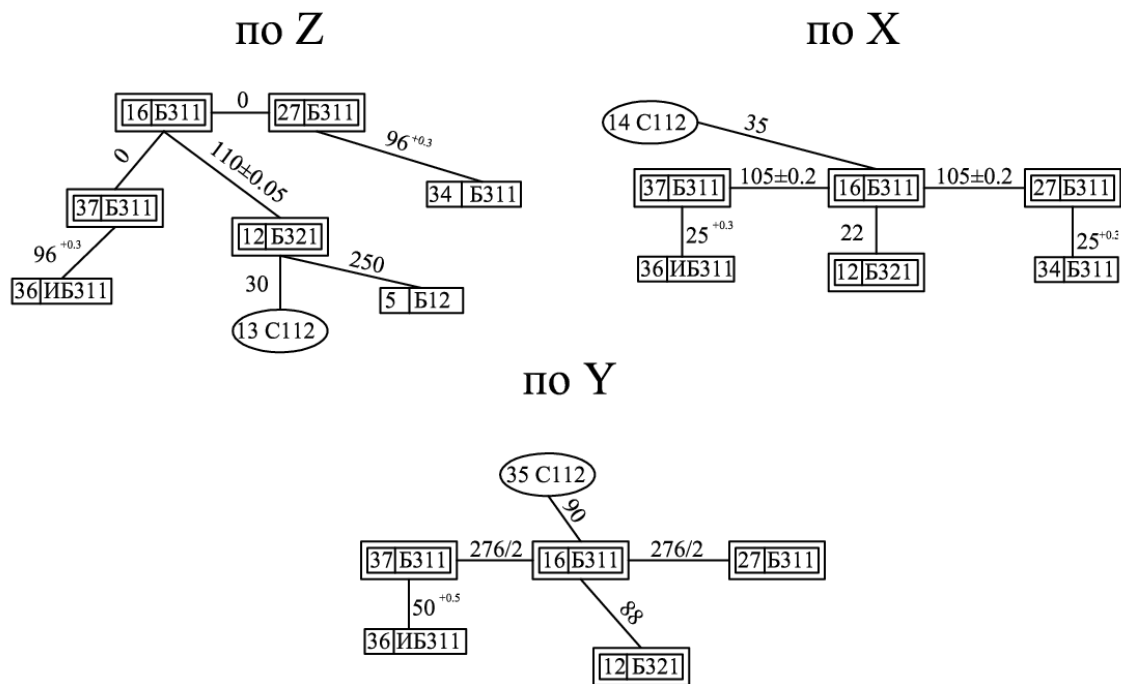


Рис. 6. Граф размерных связей МП на этапе подготовки баз

На черновом этапе комплектом технологических баз является модуль 12Б321, который был обработан на предыдущем этапе. Так как был задан ОЦ с поворотным столом, то все модули, присутствующие на рис. 6, могут быть обработаны с одного установа (за три позиции) от одного МТБ. Группы обрабатываемых модулей:

- 1) 16Б311;
- 2) 27Б311 (модуль 16Б311 является настроечной базой), 34Б311(настроечной базой будет 27Б311);
- 3) 37Б311 (16Б311будет настроечной базой) , 36ИБ311 (настроечной базой будет 37Б311). Аналогично производится выбор баз для последующих этапов обработки (рис. 7-9).

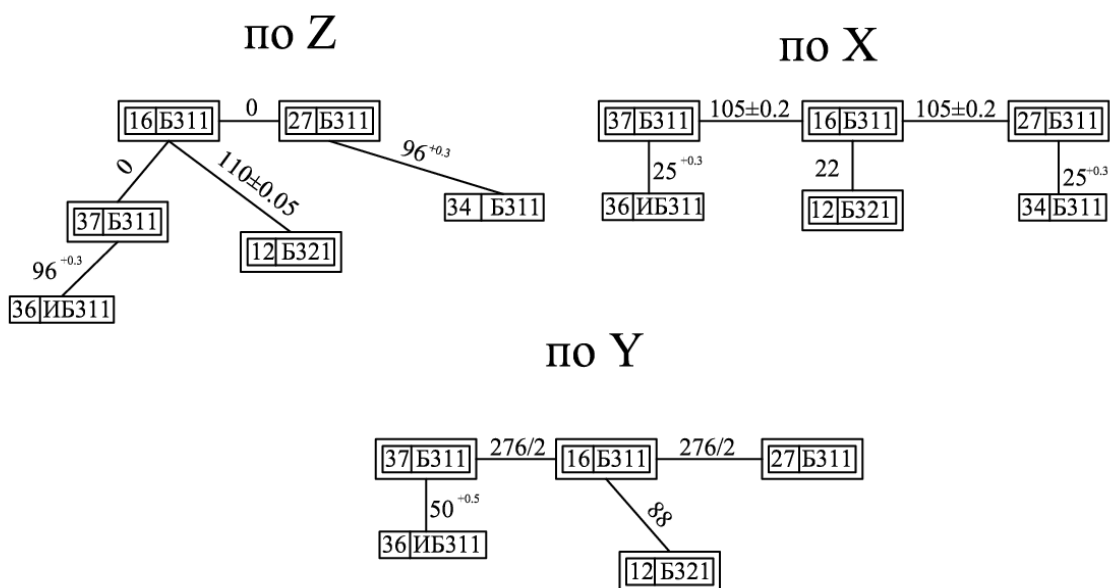


Рис. 7. Граф размерных связей МП на черновом этапе



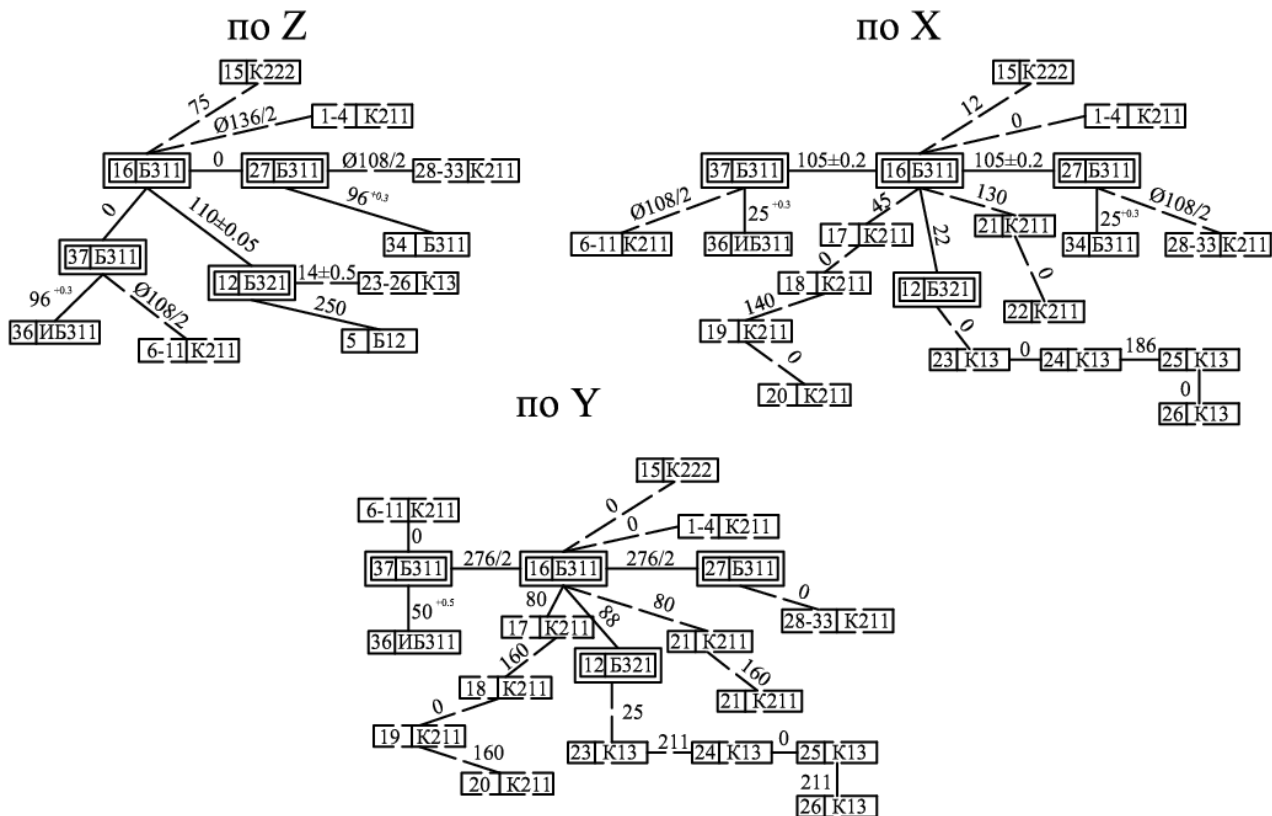


Рис. 8. Граф размерных связей МП на чистовом этапе

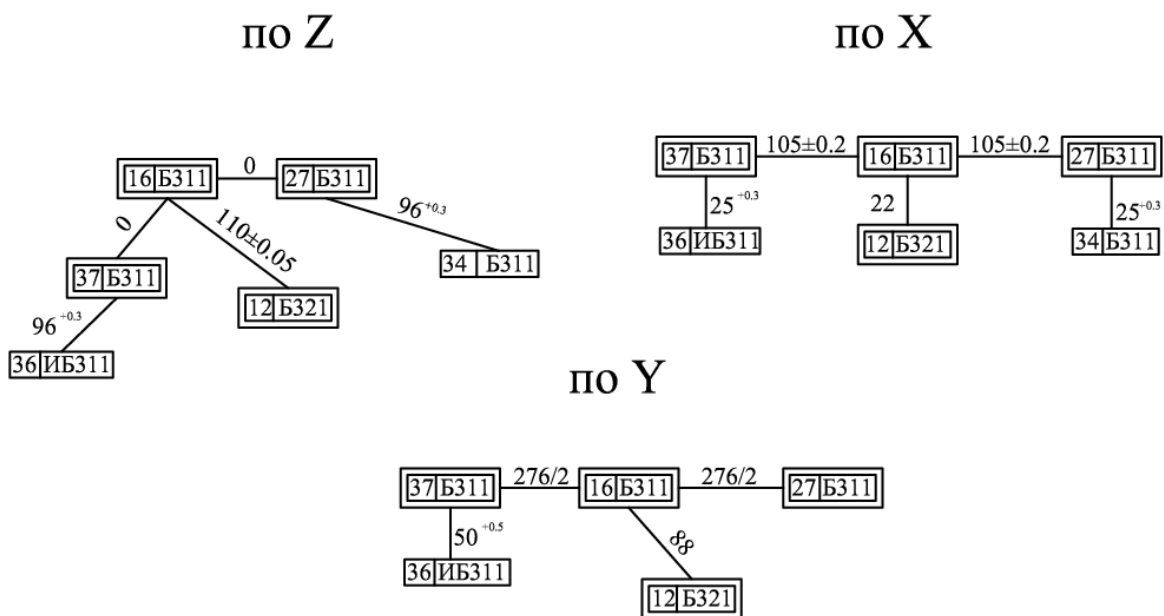


Рис. 9. Граф размерных связей МП на этапе повышенной точности

Результаты анализа графов сведен в табл. 3. В данной таблице представлены сформированные операции, в которых указаны обрабатываемые модули поверхностей на каждой позиции и выбранные модули технологических баз.

Таблица 4

## Маршрут обработки детали

Этап	Операция	Установ	Позиция	МТБ	Обрабатываемые МП
Подготовки баз (Эчр)	005	А	1	16Б311, 13С112	12Б321; 5Б12
			2		
Эчр	010	А	1	12Б321	16Б311; 27Б311,34Б311; 37Б311,36ИБ311
			2		
			3		
Эпч	015	А	1	12Б321	16Б311; 27Б311,34Б311; 37Б311,36ИБ311
			2		
			3		
	020	А	1	16Б311	12Б321; 5Б12
Эч	025	А	1	16Б311	12Б321; 23-26К13, 21-22К211, 5Б12, 17-20К211, 15К222
			2		
	030	А	1	12Б321	16Б311, 1-4К211 27Б311, 28-33К211 34Б311; 37Б311, 36ИБ311, 6-11К211
			2		
			3		
Эп	035	А	1	12Б321	16Б311; 27Б311,34Б311; 37Б311,36ИБ311
			2		
			3		

## Выводы

В статье рассмотрена методика формализации проектирования индивидуального технологического маршрута обработки детали типа корпус, сочетающая в себе принципы модульной технологии и теорию графов. Модульный технологический процесс объединяет в себе преимущества всех типов технологий, так как учитывает специфику изготавливаемой детали как единичный процесс, сохраняет типизацию решений на уровне МТИ как типовой процесс и решает задачу объединения деталей в партии по общности МП как групповой процесс. Применение графовых моделей позволяет наглядно оценить размерные связи между поверхностями детали и устранить ошибки при выборе схем базирования. Использование системно-структурных моделей и формальных процедур индивидуального проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей машин обеспечит повышение качества проектирования маршрута обработки деталей и сократить время технологической подготовки производства.

## Библиографический список

1. **Базров Б.М.** Модульная технология в машиностроении / Б.М. Базров. – М: Машиностроение, 2001. – 368 с.
2. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов: учебник для вузов: В 2 ч. / В.А. Горохов [и др.]; под ред. В.А. Горохова. – Старый Оскол: ТНТ, 2001. Ч. 2. – 576 с.
3. **Беляков, Н.В.** Формализация проектирования технологических процессов механической обработки корпусных деталей машин/ Н.В. Беляков, Е.И. Махаринский, Ю.Е. Махаринский. – Витебск: УО «ВГТУ», 2006. – 147 с.

*Дата поступления  
в редакцию 02.12.2013*

**E.A. Kulikova, T.N. Grebneva**

**FORMALIZATION OF DESIGN OF ROUTE OF PROCESSING  
OF BODY PARTS ON MACHINING CENTRE**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.A. Alexeev

**Purpose:** Develop a methodology for the design of individual processes of body parts to improve the quality and reduce the time of technological preparation of production.

**Methodology:** The use of formal procedures of individual design and structural models in the development of technological routes of body parts on the basis of modular technology and graph theory.

**Findings:** The technique of designing of technological routes body parts processing will ensure typing technological solutions, solve the problem of optimal destination sets of databases and sequencing processing modules surfaces, and also reduce the time for technological preparation of production.

**Originality:** Tipitsazatsii combination of technological solutions based on modular technology and formalized approach to individual, based on graph theory for solving the problem of choosing bases

*Key words:* module surfaces, processing module, dimensional relations graph, information geometric model parts, the processing steps is based module.