

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ РОТОРНЫХ МАШИН

Буленков Е. А., Михайлов А. Н. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

The method of constructing of automatic rotary machines is presented in this article. A method is based on development of structural charts with taking into account the features of these machines. A function of transformation of structure is base of this method.

Одним из основных путей комплексной автоматизации производства является создание многономенклатурных автоматических роторных линий [1]. Известные конструкции таких линий и работы различных исследователей подтвердили их высокую эффективность [2, 3, 4], однако известные линии позволяют изготавливать только несколько очень близких по форме и размерам изделий. В условиях рыночных отношений более целесообразным представляется создание новых многономенклатурных роторных машин и автоматических роторных линий на их основе [5], дающих возможность объединить группу различных изделий с небольшой программой выпуска для изготовления их на одной многономенклатурной автоматической роторной линии. Известные методики проектирования не позволяют обоснованно подойти к проектированию таких машин и линий [6], поэтому разработка новой методики проектирования многономенклатурных роторных машин является актуальной задачей.

Целью выполнения данной работы является разработка методики разработки структурных схем многономенклатурных роторных машин, обеспечивающей создание рациональной структуры машин за счет учета их структурно-функциональных особенностей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Выявить функциональные и структурные особенности многономенклатурных роторных машин.
2. Разработать методику выбора рациональных структурных схем данных машин.

Рассмотрим функциональные и структурные особенности многономенклатурных роторных машин на примере изготовления стержневых крепежных изделий (рис. 1).



Рис. 1. Стержневые крепежные изделия

Технологический процесс изготовления этих изделий включает в себя операции по отрезке, формированию головки, получению поверхности под резьбу, накатыванию резьбы. При этом на каждой многономенклатурной роторной машине выполняется по сути одна операция, но над большим количеством различных по форме и размерам изделий.

Структура многономенклатурных роторных машин определяется реализуемыми на них функциями, а конструктивные отличия возникают также из-за того, что в различных системах функции реализуются на различных иерархических уровнях их структуры. Связь функционального и структурного строения многономенклатурных роторных систем может быть представлена в виде соответствующей общей функциональной структуры схемы (рис. 2). При этом, многономенклатурные роторная линия, роторная машина и инструментальный блок обозначены соответственно как Str_1 , Str_2 и Str_3 . Функции многономенклатурного инструментального блока (МИБ) по отношению к i -му крепежному изделию представлены как f_{i4}^* , функции многоно-

менклатурной роторной машины (МРМ) по отношению к МИБ – как f_{i3}^* , функции многономенклатурной роторной линии (МРЛ) по отношению к МРМ – как f_{i2}^* , а функции окружающей среды по отношению к МРЛ – как f_{i1}^* . Подобное представление общей функциональной структуры многономенклатурных роторных систем позволило выявить особенность их функционирования, которая заключается в наличии функций модификации (f_{i0}) соответствующих структурных элементов. Реализация данной функции обеспечивает изменение структуры многономенклатурных роторных систем для обработки стержневых крепежных изделий различных типоразмеров. Следует отметить, что высокая конструктивная сложность многономенклатурных роторных систем обусловлена именно функцией модификации: различные изделия требуют для обработки конструктивно различные элементы, предназначенные для выполнения одних и тех же функций, причем необходимо предусматривать также приспособления, которые будут вводить в действие соответствующие структурные элементы.

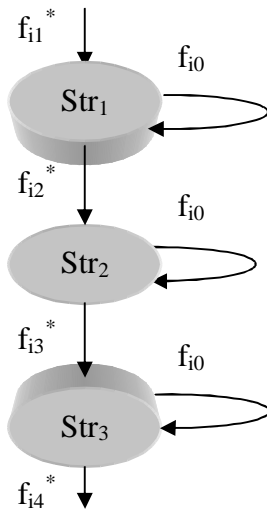


Рис. 2. Функция модификации структуры МРЛ

Разработанная общая функциональная структура многономенклатурных роторных систем позволяет описать функцию преобразования изделия (f_i) математической зависимостью

$$f_i = f_{i1}^* \cup f_{i2}^* \cup f_{i3}^* \cup f_{i4}^* \cup f_{i0}. \quad (1)$$

Общая функция преобразования изделий в многономенклатурной роторной линии (F) описывается выражением

$$F = f_1 \cup f_2 \cup f_3 \cup \dots \cup f_i \cup \dots \quad (2)$$

С учетом формул 1 и 2, общая функция преобразования свойств изделий может быть представлена в таком виде

$$\begin{aligned} F &= (f_{11}^* \cup f_{12}^* \cup f_{13}^* \cup f_{14}^* \cup f_{10}) \cup (f_{21}^* \cup f_{22}^* \cup f_{23}^* \cup f_{24}^* \cup f_{20}) \cup \dots \cup (f_{i1}^* \cup f_{i2}^* \cup f_{i3}^* \cup f_{i4}^* \cup f_{i0}) \cup \dots = \\ &= (f_{11}^* \cup f_{21}^* \cup \dots \cup f_{i1}^* \cup \dots) \cup (f_{12}^* \cup f_{22}^* \cup \dots \cup f_{i2}^* \cup \dots) \cup (f_{13}^* \cup f_{23}^* \cup \dots \cup f_{i3}^* \cup \dots) \cup \\ &\cup (f_{14}^* \cup f_{24}^* \cup \dots \cup f_{i4}^* \cup \dots). \end{aligned}$$

Таким образом, общая функция преобразования свойств изделий в многономенклатурных роторных системах включает в себя функции, реализуемые в отдельных структурных элементах и функцию модификации этих элементов:

$$F = f_1^* \cup f_2^* \cup f_3^* \cup f_4^* \cup f_0^*.$$

Наличие функции модификации в функциональной структуре многономенклатурной роторной машины отличает ее от других роторных машин, т.е. является функциональной особенностью, и обуславливает необходимость усложнения ее конструкции для реализации этой функции, что является структурной особенностью данной машины.

В связи с необходимостью модификации структуры многономенклатурных роторных машин для обработки различных типоразмеров крепежных изделий, в конст-

рукции каждого структурного элемента машины должны быть предусмотрены соответствующие составные части. Проектировать такие сложные машины, не имея четкого понимания их структуры, представляется затруднительным. Наиболее удобно для представления структуры многономенклатурных роторных машин пользоваться структурными схемами, на которых условно показаны основные структурные элементы и связи, возникающие между ними.

Каждый структурный элемент машины, с учетом функции модификации, для обработки изделий различных типоразмеров может предусматривать выбор или переналадку соответствующих частей, или комбинацию этих вариантов (рис. 3). В случае осуществления выбора соответствующих составных частей (вариант а, рис. 3) структурный элемент состоит из магазина составных частей, соответствующих отдельным типоразмерам изделий (Эл. 1, Эл.2, ... Эл. k), и устройства выбора (?), осуществляюще-

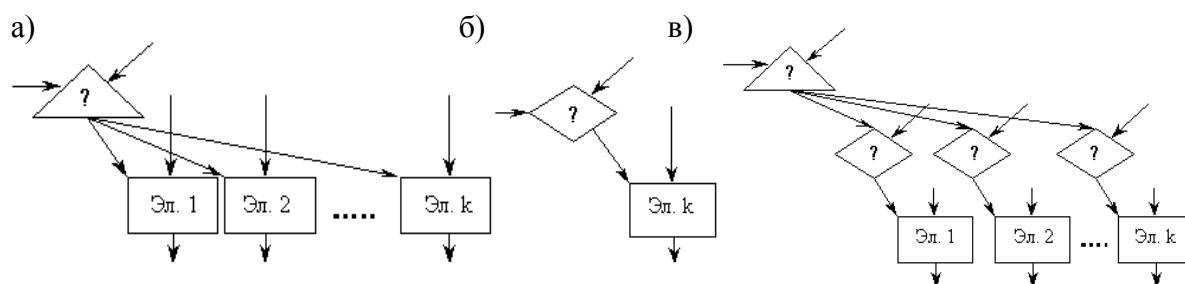


Рис. 3. Схемы структурных элементов

го выбор необходимой составной части структурного элемента в зависимости от типоразмера изделия. Стрелками на схеме обозначены взаимодействия с другими структурными элементами данного иерархического уровня, воздействия со стороны элементов более высокого иерархического уровня и воздействия на элементы более низкого иерархического уровня. В процессе работы на устройство выбора, обозначенное на схеме знаком «?», осуществляется управляющее воздействие, в результате которого оно вводит в работу одну из частей структурного элемента. При этом остальные части в обработке не участвуют.

В случае использования переналаживаемых структурных элементов (вариант б, рис.3) устройство переналадки (обозначенное знаком «?») под управляющим воздействием осуществляет переналадку составных частей структурного элемента (Эл. k) для обработки изделий различных типоразмеров. В этом случае структурный элемент взаимодействует с элементами своего иерархического уровня функциями и с элементами верхнего и нижнего уровней соответственно.

Комбинированный способ (вариант в, рис. 3) подразумевает комбинацию первых двух вариантов. При этом осуществляется выбор требуемого переналаживаемого устройства.

Разработка структурных схем многономенклатурных роторных машин должна начинаться с общей схемы машины на примере многономенклатурной рабочей позиции и вестись в направлении постепенного усложнения структурных схем. Такой подход позволит путем постепенного добавления к структуре машины отдельных элементов по окончании проектирования получить структурную схему многономенклатурной роторной машины, по которой можно будет осуществлять ее параметрический синтез.

Структурные схемы многономенклатурных рабочих позиций получают простым перебором всех возможных вариантов общей схемы межэлементного взаимодействия (рис. 4). Данная схема отображает структурные элементы, входящие в состав

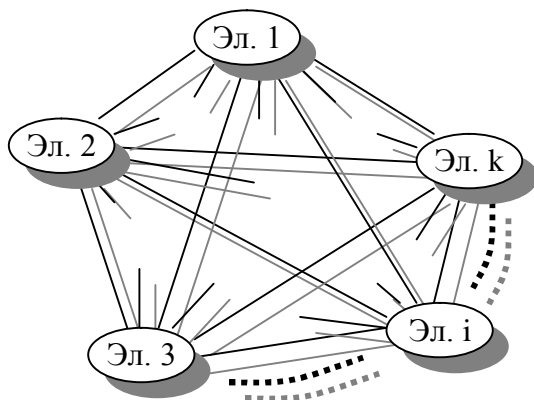


Рис. 4. Общая схема межэлементных взаимодействий

многономенклатурной рабочей позиции (Эл. 1, Эл.2, Эл.3, ... Эл. i, ... Эл. k) и взаимодействия между ними, изображенные в виде соединяющих их отрезков. Если структурные элементы, изображенные на схеме, представить как вершины плоского графа, а отрезки, обозначающие взаимодействия между элементами, - как его ребра, то общая схема межэлементных взаимодействий может рассматриваться как плоский граф, и при разработке структурных схем многономенклатурных рабочих позиций может использоваться теория графов.

При разработке структурных схем многономенклатурных рабочих позиций осуществляется перебор их возможных вариантов, при помощи которых на последующих этапах проектирования создаются многономенклатурные рабочие позиции и многономенклатурные роторные машины. Следует отметить, что с целью унификации структур многономенклатурных роторных систем при структурном синтезе на уровне схемных решений следует выбирать такую структурную схему, которая может быть реализована во всех многономенклатурных роторных машинах для осуществления всех операций многономенклатурных технологических процессов изготовления изделий.

Рассмотрим процесс разработки структурных схем многономенклатурных рабочих позиций на примере многономенклатурного технологического процесса изготовления стержневых крепежных изделий.

Технология изготовления стержневых крепежных изделий основывается на операциях третьего класса, при которых формообразование производится поверхностью инструмента. Для реализации таких операций необходимо наличие инструмента, приспособления (например, пуансона), системы привода, а также корпусных и других элементов многономенклатурных роторной машины и инструментального блока. Таким образом, схема межэлементного взаимодействия в данном случае включает такие элементы: МРМ и МИБ – элементы, связанные с многономенклатурной роторной машиной и многономенклатурным инструментальным блоком соответственно, Прив. – элементы системы привода, Инстр и Присп – элементы, связанные с инструментом и приспособлением (рис. 5). Следует отметить, что с целью снижения конструктивной сложности многономенклатурных роторных систем целесообразно использовать при реализации операций третьего класса общую систему привода для обеспечения рабочего хода инструмента и приспособления, так как формообразование и закрепление (выталкивания) изделия в большинстве случаев осуществляются простыми прямолинейными движениями.

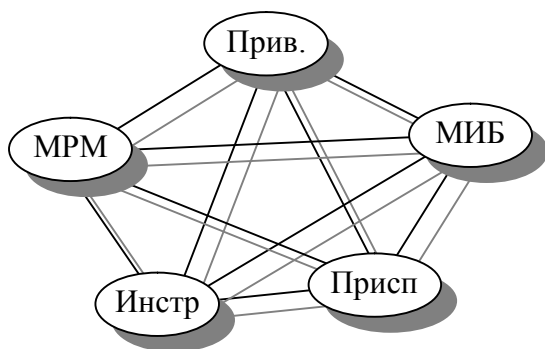


Рис. 5. Общая схема межэлементного взаимодействия в многономенклатурной роторной машине

Следует отметить, что с целью снижения конструктивной сложности многономенклатурных роторных систем целесообразно использовать при реализации операций третьего класса общую систему привода для обеспечения рабочего хода инструмента и приспособления, так как формообразование и закрепление (выталкивания) изделия в большинстве случаев осуществляются простыми прямолинейными движениями.

Таблица 1. Коды структурных элементов

		Структурное строение			
		Выбор (А)	Переналадка (Б)	Комбинация (В)	Без изменений (Г)
Функциональное строение	Инстр (1)	A1	Б1	В1	Г1
		A1.1	Б1.1	В1.1	Г1.1
	Присп (2)	A2	Б2	В2	Г2
		A2.1	Б2.1	В2.1	Г2.1
	МИБ (3)	A3	Б3	В4	Г3
		A3.1	Б3.1	В3.1	Г3.1
	Прив (4)	A4	Б4	В4	Г4
		A4.1	Б4.1	В4.1	Г4.1
	МРМ (5)	A5	Б5	В5	Г5
		A5.1	Б5.1	В5.1	Г5.1

Выбор структурных схем может осуществляться как при помощи общей схемы межэлементного взаимодействия, так и при помощи матрицы соответствия межэлементных взаимодействий. Например, при выборе структурной схемы с помощью общей схемы межэлементного взаимодействия, из неё исключаются нежелательные взаимодействия между элементами (рис. 6). Полученная таким образом схема преобразуется в структурную схему многономенклатурной рабочей позиции. Преобразование производится перестановкой структурных элементов на схеме в соответствии с их предполагаемым расположением в многономенклатурной роторной машине (рис. 7).

Важным этапом при проектировании многономенклатурных роторных систем на уровне схемных решений является унификация структурных схем многономенклатурных рабочих позиций. Разработанные для каждой многономенклатурной рабочей позиции структурные схемы сравниваются друг с другом, после чего производится выбор структурной схемы, при которой возможна реализация всех операций многономенклатурного технологического процесса изготовления изделий.

В случае проектирования многономенклатурной роторной системы для изготовления стержневых крепежных изделий такой схемой является структурная схема многономенклатурной рабочей позиции, представленная на рис. 7. Данная схема обеспечивает с одной стороны преемственность технических решений, используемых при создании однономенкла-

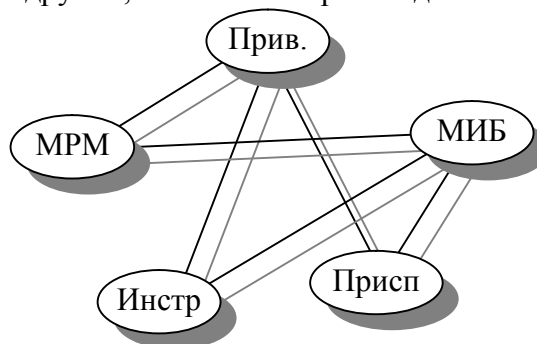


Рис. 6. Выбор схемы межэлементного взаимодействия

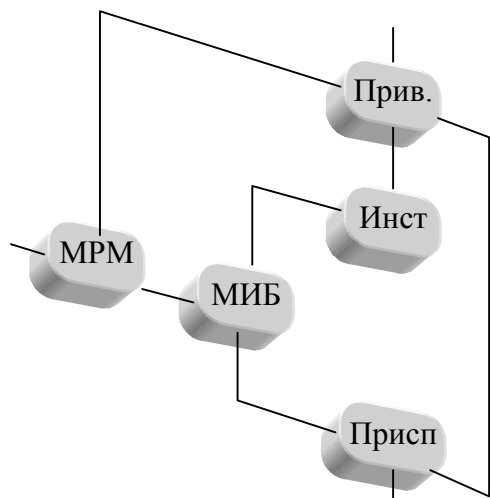


Рис. 7. Вариант структурной схемы многономенклатурной рабочей позиции

таблицы (табл. 1).

Каждый элемент может реализовывать выбор соответствующих элементов (А), их переналадку (Б), выбор переналаживаемых элементов (В) или не реализовывать функцию модификации (оставаться без изменений) (Г).

Для реализации функций преобразования энергетических свойств в структуре многономенклатурных роторных систем предусмотрены элементы системы привода. Следует отметить, что система привода в многономенклатурных роторных системах

турных роторных систем, - общую систему привода, инструментальный блок с установленными в нем инструментами и приспособлениями, а с другой – предполагает более простую конструкцию многономенклатурных роторных машин благодаря использованию общей системы привода.

Выбранная схема (рис. 7) отражает основные функциональные взаимодействия между структурными элементами многономенклатурной рабочей позиции. При этом, наличие функции модификации в многономенклатурной роторной системе обуславливает соответствующее строение структурных элементов, различные варианты которых могут быть закодированы в соответствии со структурными особенностями и представлены в виде

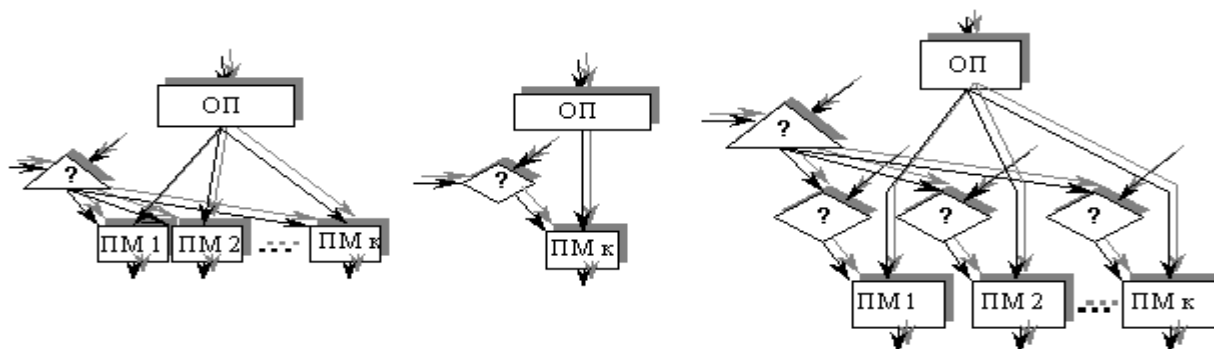


Рис. 8. Схемы структурных элементов системы привода

может быть условно разделена на две части, - общий привод и преобразующий механизм (Рис. 8). Общий привод преобразует вращательное транспортное движение многономенклатурной роторной машины в прямолинейное движение инструментов или элементов приспособления. Преобразующие механизмы изменяют характеристики системы привода в зависимости от типоразмера изделия, - величину усилия, скорость, ускорение передающих элементов и т.п.

Такой подход обуславливает необходимость уточнения схем структурных элементов (рис. 3). Схемы структурных элементов системы привода (рис. 8) включают в себя устройства управления (?), преобразующие механизмы (ПМ) и общий привод (ОП). Следует отметить, что общий привод всегда располагается в многономенклатурной роторной машине, а преобразующие механизмы могут располагаться в любых структурных элементах многономенклатурных рабочих позиций.

В таблице над чертой указан код элемента, если он не содержит преобразующий механизм, а под чертой – если преобразующий механизм входит в состав структурного элемента.

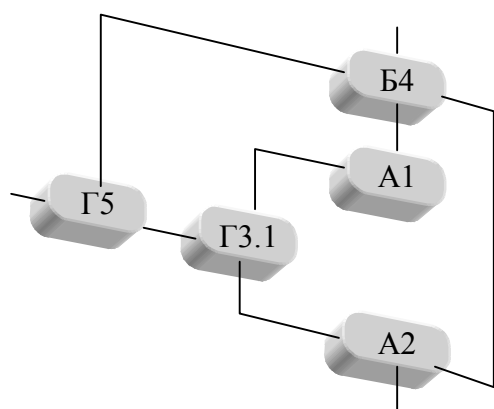


Рис. 9. Кодированная схема многономенклатурной рабочей позиции

Элементы системы привода и устройство управления (5), элементы, связанные с инструментом и устройством их выбора (3) и приспособлением и устройством их выбора (4). Элементы системы привода (5) на схеме представлены в виде общего привода, установленного в многономенклатурной роторной машине, и преобразующего механизма, размещенного в многономенклатурном инструментальном блоке и переналаживаемого под действием устройства управления (?).

Общее число возможных вариантов в данном случае рассчитывается по формуле

$$Nvu = 8^{NE}$$

где Nvu – число возможных вариантов структурных схем с учетом системы привода,

NE – число структурных элементов.

В нашем случае $Nvu = 8^5 = 32768$.

Реализация функций управления осуществляется соответствующими устройствами управления по заданной управляющей программе. Данная программа может быть заложена непосредственно в структуре многономенклатурной рабочей позиции в виде жестких связей между устройствами управления (например, в виде кулачкового механизма) (рис. 11 а). При использовании в качестве устройств управления мехатронных систем, они подключаются непосредственно к общей автоматической системе управления и получают управляющие команды от неё (рис. 11 б). Жирными линиями на схеме показаны взаи-

Различные варианты структурного строения с учетом функции модификации и строения системы привода получаются перебором возможных сочетаний уточненных кодов элементов в рамках выбранной структурной схемы (рис. 9). При этом структурная схема многономенклатурной рабочей позиции незначительно усложняется (рис. 10). На схеме изображены элементы многономенклатурной роторной машины (1), многономенклатурного инструментального блока (2), переналаживаемые элементы системы привода и устройство управления (5), элементы, связанные с инструментом и устройством их выбора (3) и приспособлением и устройством их выбора (4).

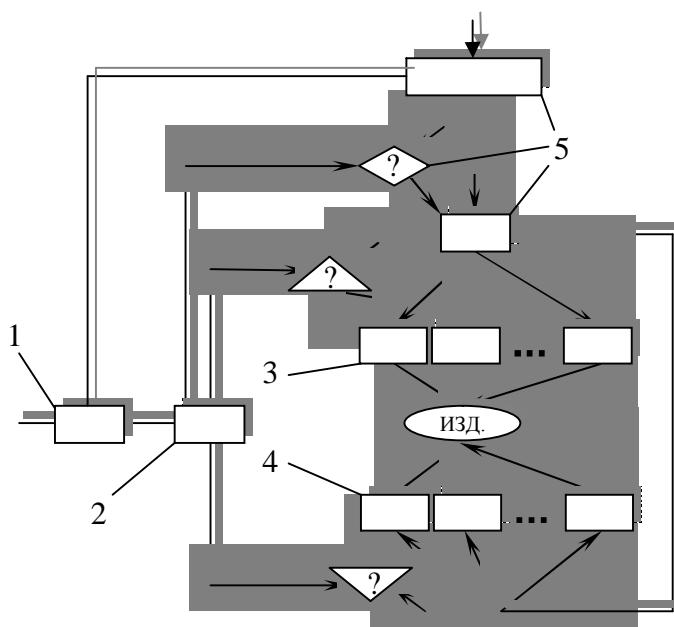


Рис. 10. Структурная схема многономенклатурной рабочей позиции с учетом системы привода

действия между устройствами управления различных структурных элементов.

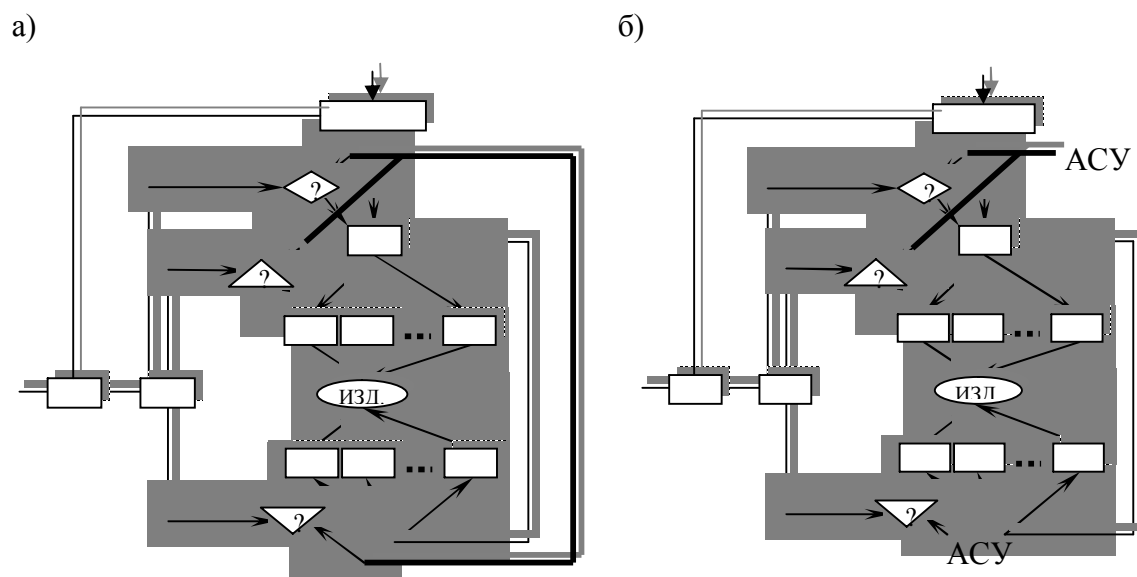


Рис. 11. Общая структурная схема многономенклатурной рабочей позиции

Предложенный метод построения структурных схем многономенклатурных рабочих позиций позволяет учесть функциональную особенность многономенклатурных роторных систем, - функцию преобразования структуры машины для обработки изделия другой номенклатуры. Структурные схемы машин разрабатываются с учетом многономенклатурных технологических процессов изготовления изделий на основании схем многономенклатурных рабочих. Разработанная методика проектирования позволяет генерировать большое число структурных схем многономенклатурных роторных машин. Только для выбранного варианта, включающего элементы, изображенные на рис.5, возможно создание 32768 структурных схем многономенклатурных роторных машин. На основании разработанных схем при помощи морфологического синтеза осуществляется параметрическое проектирование многономенклатурных роторных машин. Таким образом, разработанная методика создания структурных схем позволяет осуществлять структурный синтез новых многономенклатурных роторных машин.

Список литературы. 1. Клусов И. А. Развитие роторных технологий. // Вестник машиностроения.- 2003.- №4.- с. 46-50. **2.** Клусов И. А. Технологические системы роторных машин для серийного производства. //Автоматизация технологических процессов: Сб. науч. тр.- Тула: Тульский политехн. ин-т, 1981. - С. 13 -19. **3.** Михайлов А. Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия.- Донецк: ДонНТУ, 2002.- 379 с. **4.** Кошкин Л. Н. Комплексная автоматизация производства на базе роторных линий. Изд. 2-е, переработ. и доп. – М: Машиностроение, 1972.- 351 с. **5.** Буленков Е. А., Михайлов А. Н. Выбор рациональной структуры потока изделий для обеспечения загрузки многономенклатурных роторных линий. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонНТУ, 2006. Вып. 31. - С. 8-14. **6.** Клусов И. А. Проектирование роторных машин и линий: Учеб. пособие для студентов машиностроит. спец. вузов.- М.: Машиностроение, 1990.- 320 с.

Сдано в редакцию 22.01.2009