

$$I_B^* \dot{\varphi}^2 = 4m_B r g [k\varphi - \sin^2(\varphi/2)],$$

где  $k = (M_{II} - M_{TC}) / 2m_B r g$ .

Пуск вибровозбудителя возможен при выполнении неравенства /3/

$$k\varphi \geq \sin^2(\varphi/2).$$

Следовательно, значение пускового момента электродвигателя, приведенного к валу вибровозбудителя, должно удовлетворять неравенству

$$M_{II} \geq (0,726 + 0,5 f_{II} d) m_B r g.$$

Таким образом, полученные выражения позволяют производить исследования взаимодействия инерционного вибровозбудителя с асинхронным электродвигателем привода, осуществлять расчет момента сил сопротивления с учетом линейных и угловых колебаний подвижной массы вибромашины, выполнять проверку двигателя по пусковому моменту и неравномерности вращения.

**Список литературы:** 1. Букин С.Л. Математическая модель колебательного процесса одномассового бигармонического виброгрохота. // Научные труды ДонНТУ, выпуск 27, Донецк, 2001.- С. 89-93. 2. Владимирский электромоторный завод: Технический каталог, Владимир, 2000. –74 с. 3. Хухлович Л.Г. Исследование динамики вибрационных систем с учетом электромагнитных процессов в асинхронных двигателях возбудителей колебаний. Автореф. дисс... к.т.н. - Рига, 1986. – 16 с. 4. Пресняков В.К., Филер З.Е. Динамика машинного агрегата в случае, когда приведенные моменты инерции и сил сопротивления периодически зависят от координаты вращения. // Углеобогащительное оборудование: Труды ин-та Гипромашуглеобогащение. Т. 3. - М.: Недра, 1971. - С. 340-344.

Сдано в редакцию 06.04.05

Рекомендовано д.т.н., проф. Керекеш Т.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХМЕРНОЙ АЛГЕБРЫ ГРУПП ПРИ СИНТЕЗЕ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ РОТОРНЫХ СИСТЕМ

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

*The common properties of generic rotor systems are investigated insufficiently full. It does not allow using them at designing of generic master schedules of manufacturing of items. The cost of designing of these technical systems is augmented because of it. Routing of items in generic rotor systems, which one allows making processing of several items in each working stand are investigated in this article. The influencing of routing of items on a constitution of generic rotor systems also is studied in this article*

В настоящее время общие свойства многономенклатурных роторных систем исследованы недостаточно полно, что не позволяет учитывать их особенности при разработке многономенклатурных технологических процессов изготовления изделий и приводит к увеличению затрат на проектирование данных технических систем. В условиях растущей сложности многономенклатурных роторных систем [1, 2] и уменьшения сроков морального старения, связанных с развитием рыночных отношений на Украине,

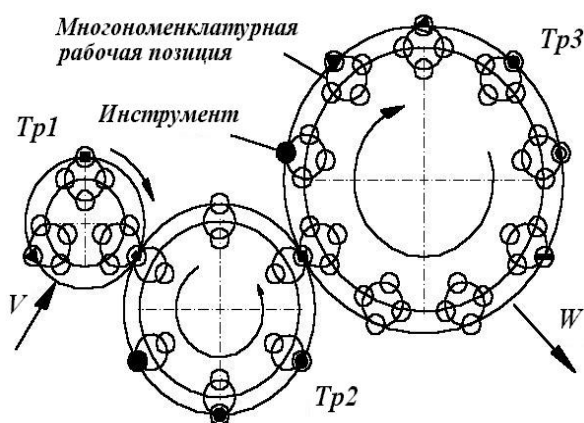


Рис. 1. Схема многономенклатурной роторной линии

обоснованно решать вопросы создания только наиболее распространенных [9] многономенклатурных роторных машин и линий, на которых обрабатывается одно изделие в каждой рабочей позиции [3]. Следует отметить, что связь маршрутизации изделий со структурой многономенклатурных роторных систем, на которых обрабатывается несколько изделий в каждой рабочей позиции, до настоящего времени не рассматривалась, что подтверждает актуальность исследуемого вопроса.

Целью выполнения данной работы является разработка элементов проектирования многономенклатурных роторных систем, обеспечивающих получение рациональной структуры за счет применения двухмерной алгебры групп.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать структурные особенности многономенклатурных роторных систем и выявить их влияние на многономенклатурные технологические процессы изготовления изделий;
- определить условия реализации многономенклатурных технологических процессов изготовления изделий на многономенклатурных роторных системах непрерывного действия;
- разработать основные вопросы маршрутизации изделий, обеспечивающие получение рациональной структуры многономенклатурной роторной системы.

Многономенклатурная роторная линия, обеспечивающая обработку нескольких изделий в каждой рабочей позиции, состоит из многономенклатурных роторных машин Tr1, Tr2 и Tr3, в каждой из которых располагаются инструментальные барабаны, содержащие различное число инструментов (см. рис. 1). При обработке, изделия поступают по входному потоку V в ротор Tr1, где обрабатываются в соответствующей многономенклатурной рабочей позиции одним из инструментов. После завершения технологического цикла обработки изделия передаются в роторы Tr2 и Tr3, где производится дальнейшая обработка и выгрузка по выходному потоку W. За время холостого хода в многономенклатурных рабочих позициях происходит замена инструмента для обработки изделия другой номенклатуры поворотом инструментального барабана. На данных машинах можно производить обработку близких по технологии изготовления изделий, например, формообразование головок нескольких типоразмеров стержневых крепежных изделий, отличающихся формой головки, диаметром и длиной резьбовой части.

Для исследования особенностей многономенклатурных роторных систем при-

учет эксплуатационных свойств проектируемых систем на стадии разработки многономенклатурного технологического процесса изготовления изделий позволит существенно снизить затраты труда на их проектирование и освоение. Следует отметить, что общие свойства многономенклатурных роторных систем исследовались ранее [3, 4], различными авторами рассмотрены вопросы маршрутизации изделий в однономенклатурных роторных системах [5], в роторных системах сборки с разветвляющимися потоками [6], в поточно-пространственных технологических системах [7, 8]. Данные работы позволяют

мом, что на данной многономенклатурной роторной линии обрабатывается  $Z_0$  типоразмеров крепежных изделий. Следует отметить, что в рассматриваемом случае число типоразмеров крепежных изделий  $Z_0$  больше числа многономенклатурных рабочих позиций  $U_p$  в роторных машинах. При условии последовательной загрузки крепежных изделий в многономенклатурную роторную линию, в каждой многономенклатурной рабочей позиции будет обрабатываться несколько крепежных изделий, причем количество этих изделий и то, какие именно изделия будут обрабатываться в каждой конкретной многономенклатурной рабочей позиции, будет определяться структурой многономенклатурной роторной линии. Таким образом, структура данной многономенклатурной роторной линии влияет на структуру операций многономенклатурного технологического процесса изготовления крепежных изделий.

Зададим в качестве начального условия то, что первый маршрут изделия в данной многономенклатурной роторной линии представляет собой совокупность первых позиций многономенклатурных инструментальных блоков и инструментов в каждой многономенклатурной роторной машине. Следует отметить, что группа типоразмеров изделий и группы многономенклатурных инструментальных блоков и инструментов являются замкнутыми рекуррентными последовательностями [8], а также удовлетворяют необходимым и достаточным условиям существования  $n$ - мерных циклических групп [8]. В связи с этим дальнейшие исследования по определению параметров маршрутизации будем проводить на основании многомерной теории групп [8], а основные вопросы маршрутизации изделий будем разрабатывать с помощью гомоморфного отображения группы типоразмеров изделий и групп многономенклатурных инструментальных блоков и инструментов [8].

Рассмотрим параметры маршрутизации изделий, характеризующие роторные машины (цикл маршрутизации; число типоразмеров изделий, участвующих в каждом маршруте, поступающих в каждую многономенклатурную рабочую позицию; номера изделий, соответствующих каждой многономенклатурной рабочей позиции).

В многономенклатурной роторной линии цикл маршрутизации  $N_1$  [5] определяется по выражению:

$$N_1 = \text{НОК} [U_{p_1}, U_{p_2}, \dots, U_{p_k}], \quad (1)$$

где  $\text{НОК} [ \dots ]$  - наименьшее общее кратное;

$U_{p_1}, U_{p_2}, \dots, U_{p_k}$  - числа рабочих позиций;

$k$  - число многономенклатурных роторов в системе.

При этом число типоразмеров изделий, участвующих в каждом маршруте  $V_{N_1}$ , следует находить по зависимости:

$$V_{N_1} = \frac{\text{НОК} [Z_0, N_1]}{N_1} = \frac{\text{НОК} [Z_0, \text{НОК} [U_{p_1}, U_{p_2}, \dots, U_{p_k}]]}{\text{НОК} [U_{p_1}, U_{p_2}, \dots, U_{p_k}]}, \quad (2)$$

где  $Z_0$  - число типоразмеров изделий.

Для каждой роторной машины рассчитывается число изделий  $V_{U_p}$ , поступающих в каждую многономенклатурную рабочую позицию

$$V_{U_p} = \frac{\text{НОК} [Z_0, U_p]}{U_p}. \quad (3)$$

Для определения номеров изделий, обрабатываемых в каждой многономенклатурной рабочей позиции, следует составить матрицу соответствия:

$$V = \left\{ Z_1 \quad Z_2 \quad \dots \quad Z_{V_{U_p}} \right\}, \quad (4)$$

где  $V$  - матрица соответствия многономенклатурной рабочей позиции обрабатываемым в ней изделиям.

$Z_i$  – номер изделия, соответствующего инструменту под номером  $i$ , установленному в данной многономенклатурной рабочей позиции.

$i = 1, 2, \dots, V_{U_p}$  - номер инструмента.

Здесь номер изделия  $Z_1$  для первого инструмента соответствует номеру рабочей позиции, для которой ведется расчет. Для остальных инструментов расчет ведется по формулам

$$\begin{aligned} Z_i^* &= Z_{i-1}^* + U_p; \quad Z_1^* = Z_1 \\ Z_i &= Z_i^* - \left[ \frac{Z_i^*}{Z_o} \right] \cdot Z_o, \text{ при } Z_i = 0 \text{ следует принять } Z_i = Z_o. \end{aligned} \quad (5)$$

Аналогично определяются параметры маршрутизации, характерные для отдельных типоразмеров изделий (цикл маршрутизации с учетом цикла типоразмеров; число маршрутов, число многономенклатурных рабочих позиций для каждой роторной машины, номера позиций и инструментов по которым проходит каждое изделие).

Цикл маршрутизации с учетом цикла типоразмеров  $N_{U_p-n}$  учитывает соотношение числа типоразмеров изделий и количества многономенклатурных рабочих позиций роторных машин

$$N_{U_p-n} = \text{НОК} [Z_o, U_{p1}, U_{p2}, \dots, U_{pk}]. \quad (6)$$

Выражение для определения числа маршрутов, в которых участвует каждое изделие  $V_{НОМ}$ , имеет вид

$$V_{НОМ} = \frac{\text{НОК} [Z_o, N_1]}{Z_o} = \frac{\text{НОК} [Z_o, \text{НОК} [U_{p1}, U_{p2}, \dots, U_{pk}]]}{Z_o}. \quad (7)$$

При этом число многономенклатурных рабочих позиций для каждой роторной машины, в которые поступает каждое изделие  $V_{Z_o}$ , следует находить по зависимости

$$V_{Z_o} = \frac{\text{НОК} [Z_o, U_p]}{Z_o}. \quad (8)$$

Расчет номеров позиций и инструментов, по которым проходит каждое изделие, производится в несколько этапов.

Вначале определяются номера маршрутов, в которых участвует данное изделие:

$$T = \left\{ t_1^* \quad t_2^* \quad \dots \quad t_{V_{НОМ}}^* \right\}, \quad (9)$$

где  $T$  - матрица маршрутов, в которых участвует данное изделие;

$t_1^*, t_2^*, \dots, t_{V_{НОМ}}^*$  - номера маршрутов.

Здесь номер первого маршрута соответствует номеру изделия, для которого

проводим расчет. Номера остальных маршрутов определяем по выражению

$$t^*_{j} = t^*_{j-1} + Z_o. \quad (10)$$

Затем для каждой роторной машины находится номер многономенклатурной рабочей позиции  $U_{p_j}^*$ , по которой проходит соответствующий маршрут

$$U_{p_j}^* = t^*_{j} - \left[ \frac{t^*_{j}}{U_p} \right] \cdot U_p. \quad (11)$$

Как результат, для установленной многономенклатурной рабочей позиции определяется номер инструмента  $U_j$ , соответствующего данному маршруту по выражениям

$$f = \left[ \frac{t^*_{j}}{U_p} \right], \quad U_j = \begin{cases} f - \left[ \frac{f}{V_{U_p}} \right] \cdot V_{U_p}, \text{ при } f - \frac{t^*_{j}}{U_p} = 0, \\ (f + 1) + \left[ \frac{f + 1}{V_{U_p}} \right] \cdot V_{U_p}, \text{ при } f - \frac{t^*_{j}}{U_p} \neq 0. \end{cases} \quad (12)$$

Таким образом, разработанные вопросы маршрутизации изделий на многономенклатурных роторных системах позволяют определять, какие изделия обрабатываются в данных многономенклатурных рабочих позициях; находить номера позиций и инструментов, обрабатывающих данное изделие; учитывать возможные варианты структуры многономенклатурной автоматической роторной линии при разработке структур операций многономенклатурного технологического процесса. При этом, общее число инструментов в многономенклатурных автоматических роторных линиях  $Num$ , определяемое как сумма произведений чисел рабочих  $U_p$  позиций на числа инструментов  $V_{U_p}$  может быть определено по выражению

$$Num = \sum_{i=1}^k U_{p_i} \cdot V_{U_{p_i}}. \quad (13)$$

В качестве примера выполним расчет параметров маршрутизации для многономенклатурной автоматической роторной линии со следующими характеристиками:  $Z_o=12$ ,  $U_{p1} = 3$ ,  $U_{p2} = 6$ ,  $U_{p3} = 9$ . В таблице 1 представлены маршруты изделий с учетом циклов маршрутизации и цикла типоразмеров, а также представлены номера многономенклатурных рабочих позиций, по которым проходят соответствующие изделия.

Таблица 1. Маршруты изделий в многономенклатурной роторной линии.

Количество изделий.	Номер маршрута.	Номер изделия.	Номера многономенклатурных рабочих позиций.			Цикл маршрутизации.	Цикл маршрутизации с учетом цикла типовых размеров.
			ТР1	ТР2	ТР3		
12	1	1	1	1	1	18	36
	2	2	2	2	2		
	3	3	3	3	3		
	4	4	1	4	4		
	5	5	2	5	5		
	6	6	3	6	6		
	7	7	1	1	7		
	8	8	2	2	8		
	9	9	3	3	9		
	10	10	1	4	1		
	11	11	2	5	2		
	12	12	3	6	3		
12	13	1	1	1	4		
	14	2	2	2	5		
	15	3	3	3	6		
	16	4	1	4	7		
	17	5	2	5	8		
	18	6	3	6	9		
	19	7	1	1	1		
	20	8	2	2	2		
	21	9	3	3	3		
	22	10	1	4	4		
	23	11	2	5	5		
	24	12	3	6	6		
12	25	1	1	1	7		
	26	2	2	2	8		
	27	3	3	3	9		
	28	4	1	4	1		
	29	5	2	5	2		
	30	6	3	6	3		
	31	7	1	1	4		
	32	8	2	2	5		
	33	9	3	3	6		
	34	10	1	4	7		
	35	11	2	5	8		
	36	12	3	6	9		

Цикл маршрутизации для трех многономенклатурных роторных машин определяется по выражению (1)

$$N_1 = \text{НОК} [3, 6, 9] = 18.$$

Число типоразмеров изделий, участвующих в каждом маршруте

$$V_{N_n} = \frac{\text{НОК} [12, \text{НОК} [3, 6, 9]]}{\text{НОК} [3, 6, 9]} = \frac{36}{18} = 2.$$

Таким образом, в каждом маршруте участвуют изделия двух типоразмеров. Например, по маршрутам под номерами 1 и 19 (по сочетанию многономенклатурных рабочих позиций 1-1-1) проходят изделия под номерами 1 и 7 (см. табл. 1).

По зависимости (3) находится число изделий, поступающих в каждую многономенклатурную рабочую позицию

$$V_{U_p} = \frac{\text{НОК} [12, 3]}{3} = \frac{12}{3} = 4.$$

Значит, в каждую многономенклатурную рабочую позицию первой роторной машины поступают 4 различных изделия (например, в многономенклатурную рабочую позицию 1 (см. табл. 1) поступают изделия 1, 4, 7 и 10). Расчет для остальных роторных машин аналогичен, и результаты расчета сведены в таблицу 2.

Для указанной многономенклатурной роторной линии, например, по выражениям (4-5) рассчитаем номера изделий, поступающих в 3-ю многономенклатурную рабочую позицию третьей роторной машины. При этом  $U_p = 9$ ,  $V_{U_p} = 4$  (см. табл. 2)

$$V = \{Z_1 \ Z_2 \ Z_3 \ Z_4\},$$

$$Z_1^* \rightarrow 3, \ Z_2^* = Z_1^* + U_p = 3 + 9 = 12;$$

$$Z_2 = Z_2^* - \left[ \frac{Z_2^*}{Z_o} \right] \cdot Z_o =$$

$$= 12 - \left[ \frac{12}{12} \right] \cdot 12 = 0, \Rightarrow Z_2 = Z_o = 12.$$

Для остальных инструментов

расчет соответствующих номеров изделий аналогичен, результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета параметров маршрутизации

Определяемый параметр	Многономенклатурная роторная машина			
	Тр 1	Тр 2	Тр 3	
$V_{Up}$	4	2	4	
$V_{Z_0}$	1	1	3	
V	$Z_1$	-	-	3
	$Z_2$	-	-	12
	$Z_3$	-	-	9
	$Z_4$	-	-	6
$U_{p1}^*$	1	1	7	
$U_1$	3	2	1	
$U_{p2}^*$	1	1	1	
$U_2$	3	2	3	
$U_{p3}^*$	1	1	4	
$U_3$	3	2	4	

Как результат, в третьей многономенклатурной рабочей позиции третьей роторной машины обрабатываются изделия, номера которых представлены в матрице соответствия

$$V = \{3 \ 12 \ 9 \ 6\}.$$

Аналогично определим параметры маршрутизации, характерные для отдельных типоразмеров изделий.

Цикл маршрутизации с учетом цикла типоразмеров  $N_{up-n}$  рассчитывается по выражению (6)

$$N_{U_{p-n}} = \text{НОК}[12, 3, 6, 9] = 36.$$

По зависимости (7) находится число маршрутов, в которых участвует каждое изделие

$$V_{НОМ} = \frac{\text{НОК}[12, \text{НОК}[3, 6, 9]]}{12} = \frac{36}{12} = 3.$$

Значит, каждое изделие участвует в трех маршрутах (например, изделие номер 3 проходит по маршрутам 3, 15 и 27 (см. табл. 1)).

Определяется число многономенклатурных рабочих позиций для каждой роторной машины, в которые поступает каждое изделие

$$V_{Z_0} = \frac{\text{НОК}[12, 3]}{12} = \frac{12}{12} = 1.$$

Таким образом, каждое изделие в данной роторной машине обрабатывается только в одной многономенклатурной рабочей позиции (например, изделие 3 (см. табл. 1) поступает только в позицию 3). Расчет для остальных роторных машин аналогичен, и результаты расчета представлены в таблице 2.

В качестве примера, по выражениям (9-10) рассчитаем номера маршрутов, по которым пройдет изделие под номером 7. При этом  $V_{НОМ} = 3$ , а значит

$$T = \{t_1^* \ t_2^* \ t_3^*\}.$$

Найдем номера маршрутов изделий

$$t_1^* = 7, \quad t_2^* = t_1^* + Z_0 = 7 + 12 = 19,$$

$$t_3^* = t_2^* + Z_0 = 19 + 12 = 31.$$

Таким образом, матрица маршрутов, в которых участвует данное изделие, имеет такой вид

$$T = \{7 \ 19 \ 31\}.$$

Проведем расчет для маршрута 7 по зависимостям (11-12).

Для первой роторной машины

$$U_{p1}^* = 7 - \left\lceil \frac{7}{3} \right\rceil \cdot 3 = 1, \quad f = 2, \quad U_1 = 3 - \left\lceil \frac{3}{4} \right\rceil \cdot 4 = 3.$$

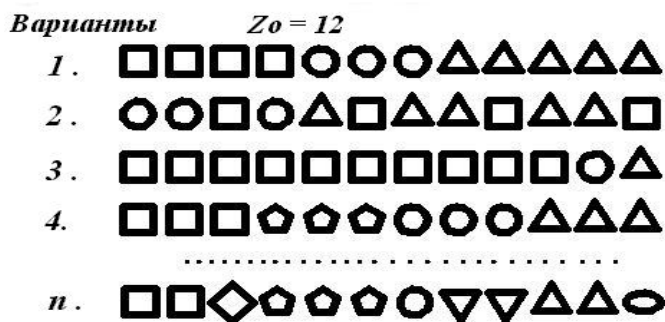


Рис. 2. Варианты последовательности изделий

личивается с целью повышения производительности их изготовления (см. рис. 2). При этом структуру многономенклатурной роторной линии можно упростить, изменив последовательность загрузки изделий. Например, для третьей многономенклатурной рабочей позиции третьей роторной машины соответствуют изделия под номерами 3, 12, 9 и 6. Если в варианте 1 (рис. 2) загружать изделия в таком порядке, как это представлено в варианте 2, то в данной многономенклатурной рабочей позиции будет осуществляться обработка изделий одного типоразмера, а значит можно устанавливать только один инструмент, вместо четырех.

Таким образом, применение теории маршрутизации изделий при проектировании многономенклатурных технологических процессов изготовления изделий позволяет упростить структуру многономенклатурных роторных систем, а значит снизить затраты на их создание. В качестве рекомендации можно предложить при разработке многономенклатурных технологических процессов изготовления изделий принимать такие структуры операций, при которых общее число инструментов в многономенклатурных роторных линиях  $N_{ит}$ , определяемое по выражению (13), стремится к минимальному значению.

**Список литературы:** 1. Клусов И. А. Развитие роторных технологий. // Вестник машиностроения. - 2003. - №4. - С. 46-50. 2. Клусов И. А. Эволюция автоматических роторных линий. // Автоматизация и современные технологии. - 2003. - №2. - С. 3-6. 3. 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. 4. Кошкин Л. Н. Роторные и роторно-конвейерные линии. - М.: Машиностроение, 1986. - 320 с. 5. Фролович Е. Н., Тиняков Г. А. Маршрутизация объектов обработки в автоматических роторных и роторно-цепных линиях. // Теория машин автоматического действия. - М.: Наука, 1970. - С. 93-97. 6. Ищенко А. Л., Михайлов А. Н., Кречин Д. Н. Проблемы маршрутизации изделий в роторных системах сборки с разветвляющимися потоками. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонГТУ, 1998. Вып. 5. - С. 72-76. 7. Михайлов А. Н. Структура маршрутов и закономерности движений изделий в поточно-пространственных технологических системах. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонГТУ, 1996. Вып. 3. - С. 64-79. 8. Михайлов А. Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия. - Донецк: ДонНТУ, 2002.- 379 с. 9. Быстров В. А., Фролович Е. Н., Клусов И. А., Прейс В. В. Роторные технологии, машины и линии на современном этапе промышленного развития. // Вестник машиностроения. - 2003. - №10. - С. 43 - 47.

Расчеты для остальных роторных машин аналогичны, результаты расчетов представлены в таблице 2.

Следует отметить, что вариант, когда на многономенклатурной роторной системе обрабатываются изделия различных типоразмеров, является одним из возможных. Более вероятны варианты, когда количество изделий в типоразмере уве-