

УДК 692. 981

В.С. Гусарев, канд. техн. наук, Одесса, Україна

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ В ГПС**

*Гнучкими виробничими системами «ГПС» називаються автоматичні комплекси, які складаються з верстатів з ЧПУ, промислових роботів і магазинів-накопичувачів для зберігання заготовок і оброблених частково або повністю виробів.*

**Ключові слова:** *гнучкі виробничі системи, автоматичні комплекси, станки с ЧПУ, промислові роботи, магазини-накопичувачі*

*Гибкими производственными системами «ГПС» называются автоматические комплексы, которые состоят из станков с ЧПУ, промышленных роботов и магазинов-накопителей для хранения заготовок и обработанных частично или полностью изделий.*

**Ключевые слова:** *гибкие производственные системы, автоматические комплексы, станки с ЧПУ, промышленные роботы, магазины-накопители*

*Flexible production systems (FPS) refers to the automatic complexes which consist of CNC machine tools, industrial robots and shops-drives for storing work pieces and partially or completely processed products.*

**Keywords:** *flexible production systems, automatic complexes, CNC machine tools, industrial robots, shops-drives for storing*

Гибкими производственными системами «ГПС» называются автоматические комплексы, которые состоят из станков с ЧПУ, промышленных роботов и магазинов-накопителей для хранения заготовок и обработанных частично или полностью изделий. ГПС допускают возможность беспеределочного выпуска большой номенклатуры деталей. Это широкое разнообразие деталей может поступать на обработку в систему в произвольном порядке.

Обеспечение перечисленных свойств и возможностей ГПС создает групповая технология, которая предусматривает максимальную загрузку станков за счет высокой концентрации операций на автоматизированных станках при одновременном сокращении их количества. Суть групповой обработки (по проф. С.П.Митрофанову) заключается в следующем: «различные детали комплектуются в группу по совпадающим элементам-поверхностям, обработка которых требует одинаковых технологических операций, необходимых для их изготовления. В группе выделяется характерная для неё деталь, называемая комплексной, которая является наиболее сложной при изготовлении в данной группе. В случае, когда такая деталь отсутствует в группе, искусственно создают комплексную деталь, содержащую все основные элементы данной группы деталей».

И так, необходимо иметь (или создать) «комплексную деталь». Например, из некоторого набора (множества) элементов-поверхностей:

$\{a\}, \{b\}, \{c\}, \{d\}$ . Комплексная деталь  $\{abcd\}$  должна иметь тот же набор элементов, что и другие детали, составленные из разных сочетаний исходных элементов-поверхностей:

$\{a\}, \{b\}, \{c\}, \{d\}$   
 $\{ab\}, \{bc\}, \{ac\}, \{ad\}, \{bd\}, \{cd\}$   
 $\{abc\}, \{abd\}, \{acd\}, \{bcd\}$   
 $\{abcd\}$ .

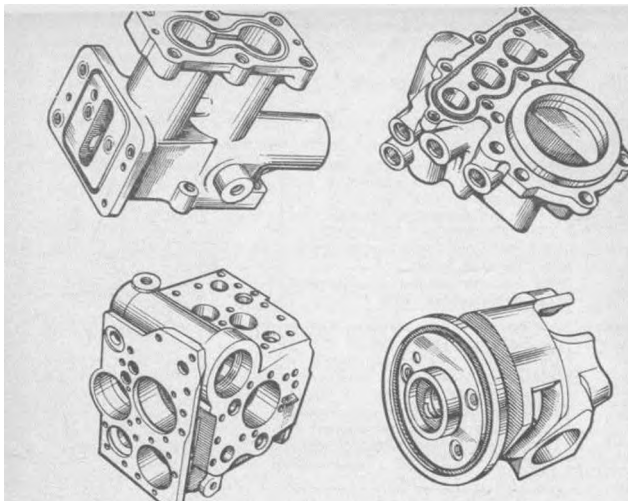


Рисунок 1 – Корпусные детали для обработки в ГПС

Такой набор технологических объектов (ТО) представляет собой серию. Естественно ГПС применяют в серийном и мелкосерийном производстве. Серия включает несколько групп деталей, составленных из разных сочетаний поверхностей-элементов, включая и комплексную деталь. Такой набор ТО и есть серия, т.е. номенклатура деталей обрабатываемых в ГПС.

В примере серию ТО представляет набор, состоящий из четырех групп деталей, включая и комплексную деталь (КТО). Иначе, серия – это множество технологических объектов (ТО), а группа – это подмножество этого множества, сформированного на совокупности элементов-поверхностей. Количество деталей, объединенных в серию, определяется как «мощность множества», по формуле:

$$N(j)=2^j -1,$$

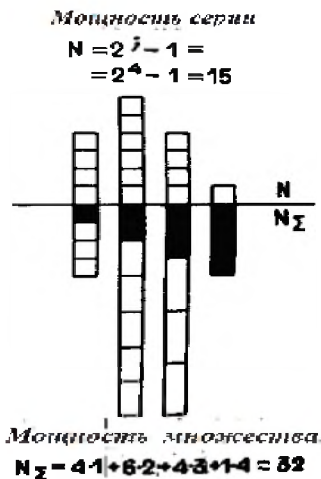
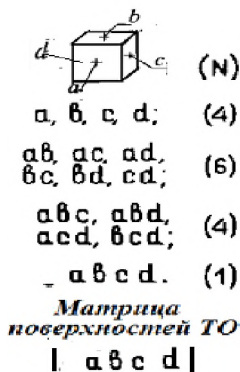
для нашего случая,  $j=4$  и тогда  $N(4) =15$ . При этом общее число элементов – поверхностей  $N_{\Sigma} = 32$ .

Все эти детали образуют серию и поэтому могут быть обработаны в ГПС с наладкой на «комплексную деталь»  $\{abcd\}$ . В практике серию может образовывать меньшее число деталей из числа возможных.

Обработка детали в технологической системе (по А.П. Соколовскому) проходит в несколько этапов. Каждый этап обработки формирует элементы-поверхности с новыми характеристиками. Получаются технологические объекты (ТО), состоящие из расширенного набора (мультимножества) элементов-поверхностей. Они образуются в процессе поэтапной обработки детали, которые приобретают новые свойства (качества):

$$[N(i,j)]$$

где  $i = 1,2,3,\dots$   
 $n$  – этапы обработки  
 $j = a,b,c,\dots,k$  – элементы ТО.



Рассмотрим образование мультимножества «элементы-поверхности» на примере  $[N(i,j)] = [N(3,3)]$  для ТО, в котором  $i = 1,2,3$  и  $j = a,b,c$ .

Исходная заготовка -  $a_0 b_0 c_0$ . Деталь после обработки 1 этапа -  $a_1 b_1 c_1$ , после 2 этапа -  $a_2 b_2 c_2$ , после 3 этапа -  $a_3 b_3 c_3$  будет изображаться матрицей:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$$

Здесь  $N(i;j)$  определяет число деталей в серии или «мощность мультимножества», определяемое по формуле:

$$N(i;j) = (i+1)^j - 1.$$

Наше предложение состоит из включения в серию всех групп деталей с элементами поверхностей, образуемыми по ходу выполнения этапов обработки. Такая «модель» может описывать «комплексную деталь», как сложный ТО, который включает в себя все возможные технологические группы ТО. Мультимножество, построенное по выше приведенной схеме, имеет «мощность» в нашем примере

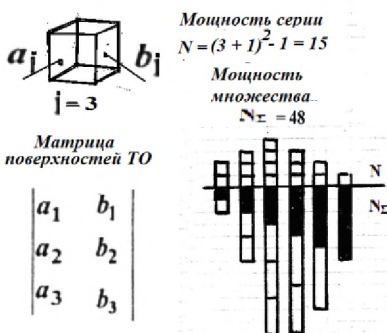
$$N(3;3) = (3+1)^3 - 1 = 63.$$

Кроме общего количества деталей в серии, нас может интересовать количество групп и количество деталей в каждой группе. Для расчета плановых заданий и программирования обработки элементарных поверхностей целесообразно иметь представление о полном числе элементов-поверхностей в каждом конкретном случае. Такой расчет можно вести по диаграмме (см. выше). Для варианта [  $N(3;3)$  ] имеем:

$$N(i;j) = 3 \cdot 1 + 6 \cdot 2 + 10 \cdot 3 + 12 \cdot 4 + 12 \cdot 5 + 10 \cdot 6 + 6 \cdot 7 + 3 \cdot 8 + 1 \cdot 9 = 288.$$

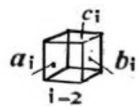
Количественная характеристика серии, группы деталей существенно зависит от исходного базового множества элементов-поверхностей и числа этапов, которые формируют мультимножество, иначе матрицы поверхностей обрабатываемого технологического объекта. Рассмотрим несколько вариантов матриц поверхностей и характерные для них «мощности множества».

Серия (множество) из двух базовых элементов и трех этапов:



Вид матрицы поверхностей существенно изменяет представление о возможностях комплектации деталей в серию или группу.

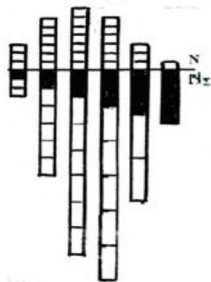
Серия (множество), сформированная из трех элементов и двух этапов:



Мощность серии  
 $N = (2 + 1)^3 - 1 = 26$   
 Мощность множества  
 $N_{\Sigma} = 81$

Матрица поверхностей TO

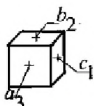
$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix}$$



Если набор свойств TO определяется неполной матрицей, для определения числа TO в серии надо пользоваться формулой:

$$N(i,j,o) = (i_a+1) (i_b+1) (i_c+1) - 1,$$

Серия, сформированная из базовых элементов, которые обрабатываются в разное число этапов, т.е. имеет неполную матрицу элементов-поверхностей.



Мощность серии

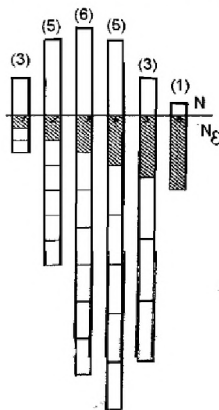
$$N(i,j,o) = (i_c+1) (i_b+1) (i_a+1) - 1 = (3+1) (2+1) (1+1) - 1 = 23$$

Мощность множества.

$$N_{\Sigma} = 1 \cdot 3 + 2 \cdot 5 + 3 \cdot 6 + 4 \cdot 5 + 5 \cdot 3 + 6 \cdot 1 = 72$$

Матрица поверхностей TO

$$|N(i,j,o)| = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & 0 \\ a_3 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$



В этой серии: три ТО с одним элементом, пять ТО – с двумя, шесть ТО – с тремя, пять ТО – с четырьмя, три ТО – с пятью и один ТО с шестью элементами. Определение числа ТО, обрабатываемых в ТАС, позволяет на начальных стадиях проектирования находить дополнительные возможности по их обработке. Они часто скрыты при обычном традиционном анализе и поэтому не включены в исходное техническое задание. Если ГПС, находясь в эксплуатации, производит ограниченное число ТО из серии, то существует реальная возможность в этой же системе обрабатывать и другие ТО из этой серии, ранее не предусмотренные проектом.

Например, если их число будет  $n$ , из возможных  $N$  конструктивных элементов детали, т.е.  $N > n$ , тогда можно определить коэффициент «гибкости первого рода»  $k(N) = n/N$ , его пределы  $1/N < k(N) < 1$ .

Использование общих принципов групповой обработки в ГПС приводит к появлению структурного программирования и планирования запуска деталей на обработку. Рассмотрим случай обработки серии ТО с различной сложностью в операционных действиях. Детали серии имеют разное время обработки, т. е. обладают разной «станкоемкостью» в силу их сложности. Возникает вопрос: – в каком порядке производить запуск деталей на обработку? Этот вопрос не из теории массового обслуживания, потому что нет случайного потока деталей на обслуживание (обработку) детали станком. Он здесь планируется, время обслуживания здесь величина не случайная, а известная и детерминированная. К тому же вопрос о порядке запуска к чему, ведь ГПС так или иначе будет загружена  $\Sigma T = 180$  единиц времени.

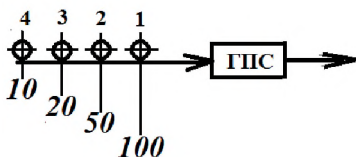


Рисунок 2 – Схема очереди ТО на обслуживание в ГПС

Однако, если учесть время, которое детали находятся в очереди на обработку (обслуживание) ГПС, то картина меняется.

$$T(i) = (t_m + t_o),$$

где  $t_m$  – время обработки,  $t_o$  – время ожидания.

Первая деталь без очереди  $T(1) = (t_m + t_o)$ , при  $t_o = 0$ ,  $T(1) = (t_m) = 100$ .

Вторая –  $T(2) = (t_m + t_o) = (50 + 100) = 150$ .

Третья –  $T(3) = (t_m + t_o) = (20 + 50 + 100) = 170$ .

Четвертая –  $T(4) = (t_m + t_o) = (10 + 20 + 50 + 100) = 180$ .

Суммарное время прохождения серии деталей через систему  $\Sigma T(n) = 600$ .

Среднее время детали  $\Sigma T(i)/n = 600/4 = 150$ .

Если построить детали в очередь в обратном порядке.

Четвертая деталь идет на обработку первой  $T(4) = (t_m + t_o) = 10$ , т.к.  $t_o = 0$ .

Третья – второй  $T(3) = (t_m + t_o) = (20 + 10) = 30$ .

Вторая – третьей  $T(2) = (t_m + t_o) = (50 + 20 + 10) = 80$ .

Первая – четвертой  $T(1) = (t_m + t_o) = (100 + 50 + 20 + 10) = 180$ .

Суммарное время прохождения серии деталей через систему  $\Sigma T(n) = 300$ .

Среднее время детали  $\Sigma T(i)/n = 300/4 = 75$ .

Из рассмотренного сделаем вывод: построение очереди при запуске серии деталей на обработку (обслуживание) в дискретном регулярном потоке; следует планировать от простого ТО к сложному.

Использование общих принципов групповой обработки в ГПС приводит к появлению определенной структурной избыточности, как в технологических средствах, так и в элементах автоматизации. ГПС, которые созданы к настоящему времени в разных странах, весьма разнообразны, как по своей масштабности, так и уровню автоматизации. При проектировании ГПС возникают определенные трудности в представлении взаимодействия станков, роботов, транспортной и складской систем. Разрешение этих сложностей позволяет метод структурных схем [1, 2].

**Список использованных источников:** 1. *Гусарев В.С.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении /метод указания. Одесса. ОНПУ. 1999. – 35с. 2. *Гусарев В.С.* Структуры гибких производственных систем. / Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві // Зб. наукових праць. Одеса, ОНПУ, Наука і техніка, 2015. – . Вип. 3(8), с. 143-150.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Gusarev V.S.* Avtomatizacija proizvodstvennyh processov v mashinostroenii /metod ukazaniija. Odessa. ONPU. 1999. – 35s. 2. *Gusarev V.S.* Struktury gibkikh proizvodstvennyh sistem. / Inforacijni tehnologii v osviti, nauci ta virobnictvi // Zb. naukovih prac'. Odessa, ONPU, Nauka i tehnik, 2015. – . Vip. 3(8), s. 143-150.