

УДК 519.711.3

**ГРУППИРОВКА КОМПЛЕКСОВ МНОГОСТАДИЙНЫХ
ОБСЛУЖИВАЮЩИХ СИСТЕМ****Жолткевич Г.Н., Игнатов С.Ю., Назыров З.Ф.****Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина**

В работе рассматриваются вопросы классификации комплексов многостадийной системы согласно соотношениям вход-выход и автоматической группировки комплексов путем анализа графа состава конечного изделия.

Ключевые слова: многостадийная система, классификация комплексов, граф состава, автоматическая группировка.

Интенсивное развитие систем, управляющих различного рода объектами в реальном масштабе времени заставляет разработчиков активно совершенствовать способы и средства их проектирования. В настоящее время большое внимание уделяется вопросам управления сложными объектами с использованием комплексного подхода к разработке систем управления, включая синтез их структур и создание методов и алгоритмов планирования и управления.

Создание сетей, управляющих группами алгоритмически подобных объектов, на базе специальных вычислителей с использованием RISC и CISC процессоров является сложной задачей. Необходимо учитывать их многопроцессорность и гетерогенность, распределенный характер вычислений, широкий диапазон вычислительных ресурсов, элементной базы и т.д. Увеличение производительности и повышение качества сетей встроенных систем в первую очередь достигается за счет комплексного подхода к синтезу и управлению ними. Такой подход основывается на методах теории массового обслуживания [1 – 4] или предполагает использование генетических алгоритмов [5 – 7]. В подобных системах имеются все признаки многостадийности. Целью их функционирования является управление каждым из объектов с заданной периодичностью по времени и с минимально возможными затратами вычислительных ресурсов. Теория и практика создания подобных систем начала развиваться сравнительно недавно.

С другой стороны достаточно давно появились и успешно развиваются методы комплексного подхода к управлению производственными системами, для которых существует цель – выполнение некоторого плана поставок готовой продукции определенной конструктивной сложности в заданные сроки и с минимально возможными затратами производственных ресурсов.

В управлении многостадийными объектами производственного назначения широко известны методологии комплексного подхода MRP/CRP (Material/Capacity Requirements Planning) и ERP (Enterprise Resource Planning) [8 – 12].

MRP/CRP – методология планирования материальных и производственных ресурсов. Сущность методологии MRP состоит в определении конечной потребности в ресурсах по данным объемно-календарного плана поставок. Ключевым понятием данных методологий является понятие "разузлование", то есть приведение древовидного состава выходного (сборочного) пакета (изделия) к линейному списку, по которому возможно планирование потребности и собственно производится заказ вспомогательных и комплектующих материалов или планирование производства для внутреннего потребления. Планирование потребности в производственных мощностях (CRP) имеет близкие функциональные задачи, но вместо единого понятия состава изделия оперирует такими неоднородными понятиями, как "обрабатывающий центр", "машина", "рабочие ресурсы", ввиду чего технически реализация CRP более сложна. Данные методологии объединены ввиду их тесной логической связи в плановом механизме.

Многостадийная обслуживающая система (рис. 1) представляет собой совокупность комплексов обрабатывающих ресурсов и связей между ними, предназначенную для параллельно-последовательного пошагового преобразования некоторых наборов входных материальных или информационных ресурсов в соответствующие наборы выходных ресурсов.

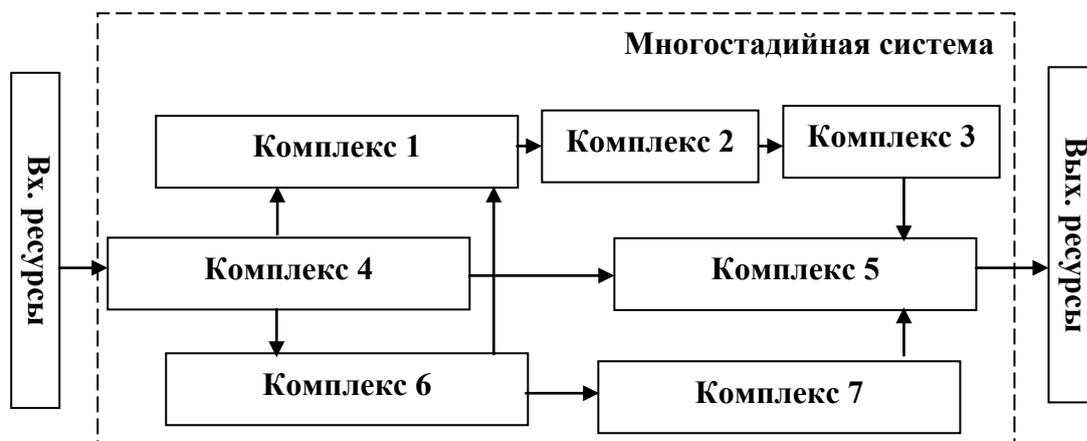


Рис. 1. Примерная структура многостадийной системы.

Соответствие обрабатываемых, входных, промежуточных и выходных основных ресурсов системы задаётся графами состава выходных ресурсов из входных и последовательностями описаний стадий обработки входных ресурсов обрабатываемыми (технологическими маршрутами) для каждого комплекса.

Обрабатываемые ресурсы представляют собой комплексы обрабатывающего оборудования и персонала соответствующей квалификации, сгруппированные по тем или иным организационным и технологическим принципам.

Комплекс, в свою очередь, может состоять из подчинённых комплексов оборудования и т.д.

Систему от комплекса отличает только степень свободы выбора цели, т.е. выбора количества и сроков обработки конечных выходных ресурсов. Цели для комплексов, т.е. количество и сроки обработки выходных (промежуточных) ресурсов, определяются системой.

Входные, промежуточные и обрабатываемые ресурсы подразделяются на основные, вспомогательные и транспортные (табл. 1).

Таблица № 1.

Ресурсы		
Основные	Узлы графа состава выходных ресурсов	Обработка основных ресурсов
Вспомогательные	Энергетические, инструментальные, платформенные, финансовые и т.п.	Обработка вспомогательных ресурсов
Транспортные	Транспортные устройства и оболочки (тары)	Транспортировка основных и вспомогательных ресурсов

Каждый комплекс, входящий в многостадийную систему характеризуется набором входных и выходных основных ресурсов, транспортируемых по каждой из связанных цепочек (рис. 1), т.е. отношением $m:n, \forall m, n \in \mathbb{N}^+$. Эти отношения определяются графами состава выходных ресурсов системы и дают возможность построить классификацию комплексов многостадийной системы (табл. 2).

Классификация комплексов.

Код	Отношение	Классификация	Примечание
М	$m:1$ при $m > 1$	Агрегирующий (Merge)	В результате обработки все входные основные ресурсы поднимаются на один верхний узел графа состава, сливаясь в один промежуточный ресурс.
Р	1:1	Преобразующий	В результате обработки каждый входной основной ресурс поднимается на один верхний узел графа состава и превращается в один промежуточный выходной ресурс.
G	$m:m$	Группирующий	То же, что в Р, но в дальнейшем обработка ресурсов происходит комплектами по m штук.
F	1: n при $n > 1$	Фрагментирующий (Fork)	В результате обработки один входной основной ресурс поднимается на один или несколько верхних уровней графа состава, порождая n промежуточных ресурсов.

Агрегирующие комплексы характерны для обработки основных ресурсов верхней части графов состава. Преобразующие и группирующие комплексы соответствуют средним уровням. Фрагментирующие комплексы обрабатывают, как правило, основные ресурсы нижних узлов графов (необходимо отметить, что для этих комплексов зачастую характерно сложное преобразование единиц измерения входных и выходных основных ресурсов).

Кроме того, каждый комплекс типа М, Р, G, F может иметь особенности, связанные с обработкой стадий (См. таблицу 3).

Особенности комплексов.

Особенность		Код
Межстадийные паузы	запрещены	пз
	разрешены	пр
Прерывания обработки стадии	запрещены	из
	разрешены	ир
Порядок следования стадий	фиксирован	сф
	произволен	сп
Одновременная обработка стадии для нескольких одинаковых ресурсов (множественная обработка)	запрещена	мз
	разрешена	мр

Поскольку известно, что верхний уровень управления согласует и формирует цели обработки для нижних уровней, и нижние уровни (комплексы) могут выбирать стратегии выполнения этих целей самостоятельно, то следует ожидать, что существуют $4 \times 16 = 64$ типа стратегий управления комплексами, определяемых отношениями вход-выход $m:n$ (см. табл. 2) и особенностями обработки стадий (см. табл. 3).

Отсюда следует что, любые комплексы с одинаковыми отношениями и особенностями могут использовать одинаковые стратегии и, если они расположены последовательно на одной обрабатывающей цепочке, то могут быть объединены в один комплекс (например, Комплексы 2 и 3, рис. 1).

В многостадийной системе обрабатывающие ресурсы группируются в многостадийные комплексы (рис. 1) по принципам технологической или предметной замкнутости [13–15]. Выбор принципа группировки существенно влияет на эффективность работы системы. Технологически замкнутая группировка минимизирует затраты на

основные обрабатывающие ресурсы, на обработку обслуживающих ресурсов и снижает требования к квалификации персонала и затраты на его подготовку, а предметно замкнутая упрощает алгоритмы управления и минимизирует транспортные пути. В настоящее время выбор принципа группировки производится исходя из эмпирических соображений (по аналогии или путём получения лицензионной проектной документации).

Возникает задача создания метода группировки комплексов многостадийной системы, т.е. выбора их технологической или предметной замкнутости.

С точки зрения поставленной задачи граф состава конечных основных выходных ресурсов может быть представлен в виде множества узлов дерева $U = \{U_i | i = 1..I\}$ и парой таблиц.

Любой узел представляется множеством

$$U_i = \{name_i, u_tech_i, u_right_name_i, u_low_level_i\}$$

где:

$name_i$ – наименование (код) выходного, промежуточного или входного ресурса;

u_tech_i – указатель на элемент таблицы видов обработки;

$u_right_name_i$ – указатель на «правого соседа»;

$u_low_level_i$ – указатель на «первого ребёнка»;

I – количество узлов.

Каждый новый узел графа ($name_i$) порождается сменой вида обработки.

Для исключения дублирования поддеревьев применяется следующее правило:

Если $\exists U_i, U_j \in U; i \neq j; i, j \in 1..I$ такие, что $name_i = name_j$ то $u_low_level_i = u_low_level_j$.

Граф состава дополняется двумя таблицами:

- Таблица видов обработки V_o со строкой:

$\{u_tech_i, tech_i - \text{вид обработки, } (o_1, o_2, o_3, o_4) - \text{коды особенностей из таблицы 3,}$

$u_gr_i - \text{указатель группы видов}\}$;

- Таблица группировки видов обработки V_g со строкой:

$\{u_gr_i, gr_i - \text{группа, } p_i = 0 \vee 1 - \text{признак несовместимости с другими группами видов обработки}\}$.

Граф макроструктуры многостадийной системы (см. рис. 1) является оргграфом с узлами, соответствующими комплексам и дугами направления движения ресурсов между ними и представляется множеством узлов W и дуг E :

$$\Gamma_w = \{W, E\}.$$

Построим квадратную матрицу смежности E' некоторого промежуточного графа $W' = \{u_tech_i \in U_i \subset U | i = 1..I\}$ в виде таблицы:

Таблица E' .

	u_tech_1	u_tech_2	...	u_tech_i
u_tech_1	0			
u_tech_2		0		
...			...	
u_tech_i				0

Содержимое ячеек таблицы E' определяется выражениями:

$$\left\{ u_tech_i, u_tech_j, \bigcup_{ij} (k_{ij} \vee 0, (name_i, name_j) \vee (\emptyset, \emptyset)) \right\} \text{ где:}$$

$name_i \in U_i \subset U$ и $name_j \in U_j \subset U$ – наименования соответствующих выходных ресурсов;

$k_{ij}; i, j \in 1..I$ – количество (кратность) одноимённых связей;

\emptyset означает, что соответствующие виды обработки не связаны друг с другом.

Ясно, что при $i = j \in 1..I$ $k_{ii} = 0$ и, соответственно, $\bigcup_{ii} (0, \emptyset, \emptyset) = \emptyset$, т.е. матрица E' имеет нулевую главную диагональ.

Если при обходе графа U слева-направо и сверху-вниз, полученная в таблице E' , матрица не верхне-треугольна, то это означает, что в макроструктуре системы будут существовать петли, т.е. будет нарушен принцип прямоточности обработки [13,15]. В этом случае желательно, но не обязательно, изменить виды обработки, создающие петли, и повторить процесс построения таблицы.

Дальнейшие шаги метода группировки комплексов многостадийной системы с помощью таблицы E' заключаются в следующем:

- Особенности обработки (o_1, o_2, o_3, o_4) вносятся в таблицу V_o экспертами в области соответствующих технологий по данным таблицы 3.

- Автоматически определяются типы комплексов $m:n$ из таблицы 2 следующим образом:

- Если строка матрицы E' имеет несколько непустых ячеек, то соответствующий комплекс является агрегирующим (тип М).

- Если строка матрицы E' имеет только одну непустую ячейку и в множестве $\bigcup_{ij} (k_{ij}, (name_i, name_j))$ все $name_j$ равны между собой, то соответствующий комплекс является фрагментирующим (тип F).

- Если строка матрицы E' имеет только одну непустую ячейку и все $name_j$ различны, то соответствующий комплекс является преобразующим или группирующим (типы Р и G).

- Если строка матрицы E' имеет только одну непустую ячейку и не все, а только некоторые $name_j$ совпадают, то соответствующий комплекс в разбивается на необходимое количество фрагментирующих (тип F), преобразующих и/или группирующих (типы Р и G) комплексов, поскольку смешивание типов внутри одного комплекса нежелательно из за усложнения организации дальнейшего управления.

- Комплексы в строках таблицы E' , чьи виды обработки u_tech_i в таблице группировки видов обработки V_g имеют признак несовместимости с другими группами и комплексы, у которых $\sum_{ij} k_{ij} \geq K$, где K – общее количество основных выходных ресурсов

(вершин) в графе состава U , размещаются в графе макроструктуры, как технологически замкнутые.

- Комплексы, расположенные в остальных строках являются предметно замкнутыми и, при $k_{ij} > 1$, разбиваются на k_{ij} одинаковых комплексов, расположенных на различных обрабатывающих цепочках в соответствии с парами $name_i, name_j$.

- Технологически замкнутые комплексы, принадлежащие одинаковым группам видов технологий $gr_k \in V_g$ объединяются в более крупные комплексы.

- Предметно замкнутые комплексы, расположенные последовательно и имеющие одинаковые типы отношений, особенности и группы видов обработки, могут быть объединены в один более крупный комплекс.

- Если предметно замкнутые комплексы расположены на одной цепочке не последовательно, но принадлежат одной группе видов обработки в таблице V_g и имеют особенность $(*,*, sp)$, т.е. порядок следования стадий произволен, то они также объединяются в один более крупный комплекс.

При объединении комплексов необходимо учитывать, что $name_i, name_j$ внутренних комплексов становятся недоступными для управления на уровне собственно системы и информация соответствующей части графа состава U должна быть перенесена внутрь информационного описания объединённого комплекса.

После проведения этих операций над таблицей E' генерируется макроструктура многостадийной системы $\Gamma_w = \{W, E\}$, где:

$$W = \{(K_i, S_i) | i = 1..R\}; \quad (1)$$

K_i – условное наименование комплекса,

S_i – список видов обработки основных ресурсов и их групп,

R – количество строк матрицы E' после всех разбиений и объединений.

$$E = \{(K_i, list_in_i, list_out_i) | i = 1..R\} \quad (2)$$

$list_in_i$ – список входных промежуточных основных ресурсов,

$list_out_i$ – список выходных промежуточных основных ресурсов.

По информации, содержащейся в множествах 1 и 2, производится визуализация макроструктуры Γ_w средствами, аналогичными пакету Visio (visio.mvps.org) и разработчику предоставляется возможность изменить условные наименования комплексов на те, которые будут использоваться в дальнейшем и откорректировать их взаимоположение, не нарушая построенных связей и соблюдая принцип прямоточности обрабатываемых цепочек.

В качестве выводов и для иллюстрации предложенного метода, ниже приводится несколько простых примеров его использования.

=====

Многостадийная система (типа «колледж») обработки двух видов выходных основных ресурсов:

За недостатком места в объёме данной статьи рассмотрим только один из семестров для двух учебных специальностей и нескольких дисциплин.

- Бакалавр по специальности «математика» 4-й семестр обучения;
- Бакалавр по специальности «информатика» 4-й семестр обучения.

Названия выходных, промежуточных и входных ресурсов:

Б4м – бакалавр математики после 4-го семестра обучения.

Б4и – бакалавр информатики после 4-го семестра обучения.

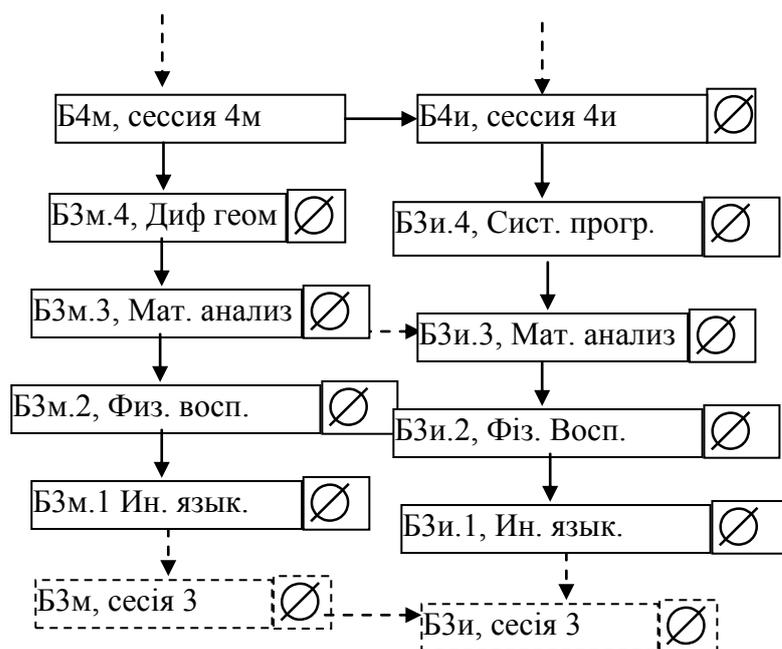
Б3м.і – бакалавр математики после 3-го семестра и освоения і-й дисциплины 4-го семестра.

Б3и.і – бакалавр информатики после 3-го семестра и освоения і-й дисциплины 4-го семестра.

Б3м – бакалавр математики после 3-го семестра обучения.

Б3и – бакалавр информатики после 3-го семестра обучения.

Граф состава основных выходных ресурсов U основывается на утверждённых учебных планах:



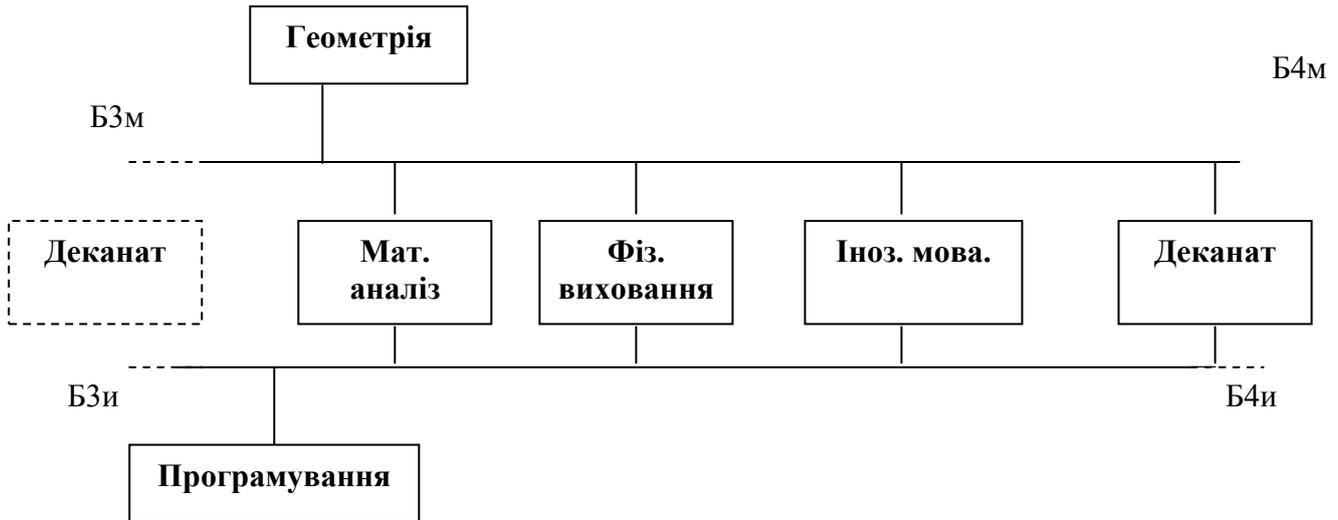
Количество входов графа $K = 2$.

Матрица смежности E' :

	Сес. 4м	Сес. 4и	Диф геом	Сист. прогр	Мат. анализ	Физ.* вихов	Ин.* мова
	0	1	2	3	4	5	6
0	0		Б4м., Б3м.4				
1		0		Б4и., Б3и.4			
2			0		Б3м.4, Б3м.3		
3				0	Б3и.4, Б3и.3		
4					0	Б3м.3, Б3м.2 Б3и.3, Б3и.2	
5						0	Б3м.2, Б3м.1 Б3и.2, Б3и.1
6							0

* – вид обработки, помеченный, как несовместимый с другими видами

Структура системы после применения метода группировки комплексов:



Все комплексы классифицируются как

P	1:1	Преобразующий	для учебных групп
---	-----	---------------	-------------------

или

G	<i>m:m</i>	Группирующий	для академических групп
---	------------	--------------	-------------------------

и имеют особенности, связанные с обработкой стадий: пр, ир, сп, мр (см. таблицы 2, 3).

=====

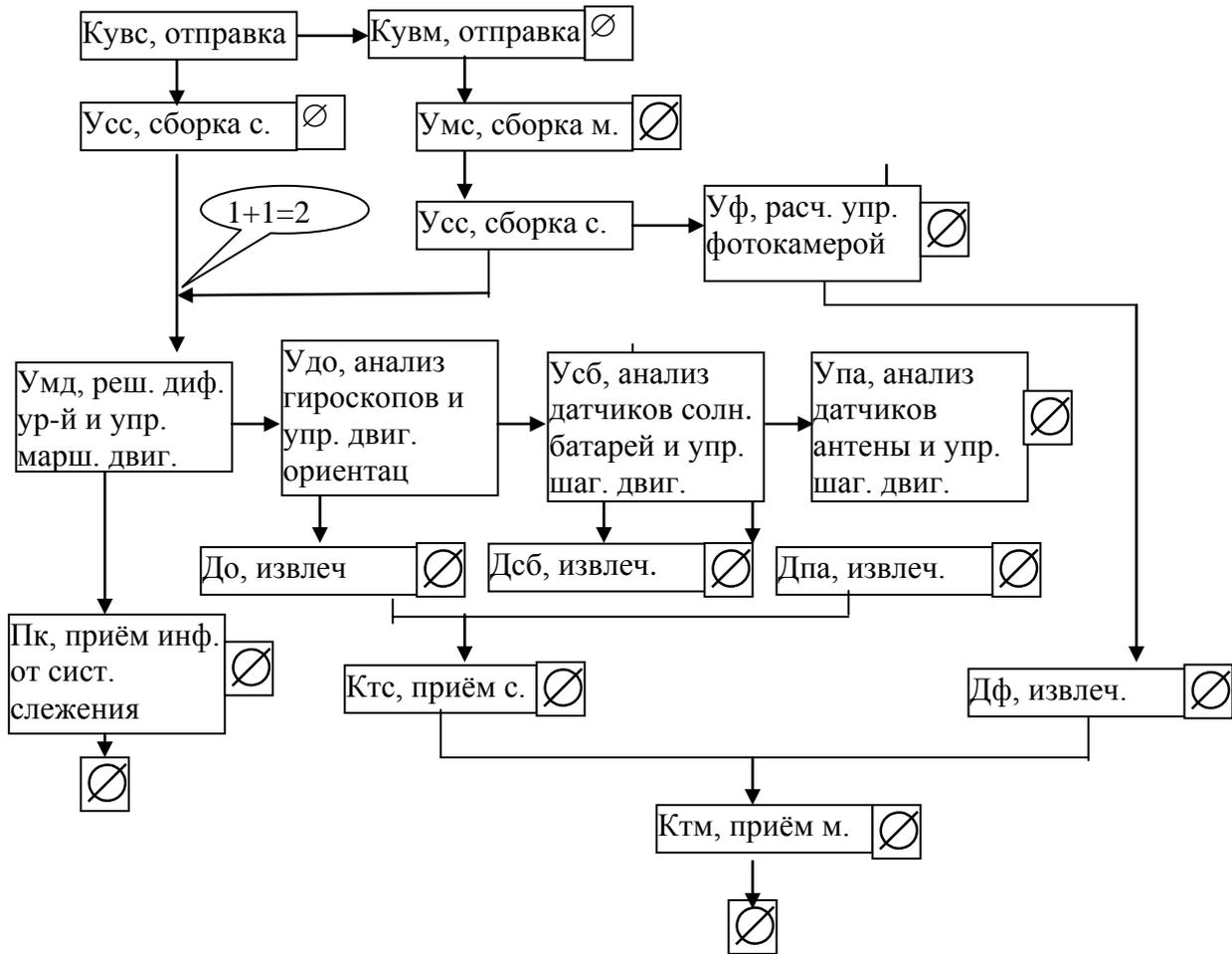
Многостадийная система (типа «центр управления полётами») информационной обработки двух видов выходных основных ресурсов:

- кадр управляющих воздействий для геостационарного спутника связи,
- кадр управляющих воздействий для метео спутника.

Названия выходных, промежуточных и входных ресурсов:

- Кувс – пакет кадра управляющих воздействий спутника связи;
- Кувм – пакет кадра управляющих воздействий метео спутника;
- Усс – кадр управляющих воздействий спутника связи;
- Умс – кадр управляющих воздействий метео спутника;
- Умд – управление маршевыми двигателями;
- Удо – управление двигателями ориентации;
- Усб – управление солнечными батареями;
- Упа – управление приёмо-передающей антенной;
- Уф – управление фотокамерой;
- Пк – показания системы слежения за орбитой;
- До – показания гироскопов ориентации;
- Дсб – показания датчиков солнечных батарей;
- Дпа – показания датчиков приёмо-передающей антенны;
- Дф – показания датчиков фотокамеры;
- Ктс – кадр телеметрии спутника связи;
- Ктм – кадр телеметрии метео спутника.

Граф состава основных выходных ресурсов U :



Количество входов графа $K = 2$.

Матрица смежности E' :

	Отправ	Сборка с.	Сборка м.	Расч. Уф	Реш. диф. ур.	Анализ гироскоп	Анализ солн. батр	Анализ антенны	извлеч	Приём инф. слежен.	Приём с.	Приём м.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	Кувс, Усс	Куvm, Умс									
2		0			Усс, Умд (2шт)	Усс, Удо (2шт)	Усс, Усб (2шт)	Усс, Упа (2шт)				
3			0	Умс, Уф								
4				0					Уф, Дф			
5					0					Умд, Пк (2шт)		
6						0			Удо, До (2шт)			
7							0		Усб, Дсб (2шт)			
8								0	Упа, Дпа (2шт)			

Группировка комплексов многостадийных обслуживающих систем

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9									0		До, Ктс (2шт) Дсб, Ктс (2шт) Дпа, Ктс (2шт)	
10										0		
11											0	Ктс, Ктм Дф, Ктм
12												0

Структура системы после применения метода группировки комплексов:



Комплексы 1, 3, 4, 5 классифицируются как

Р	1:1	Преобразующий
---	-----	---------------

и имеют особенности, связанные с обработкой стадий: пр, ир, сф, мз
Комплекс 2 классифицируется как

F	1:n при n > 1	Фрагментирующий (Fork)
---	---------------	------------------------

и имеет особенности, связанные с обработкой стадий: пр, ир, сф, мз
Комплекс 6 классифицируется как

M	m:1 при m > 1	Агрегирующий (Merge)
---	---------------	----------------------

и имеет особенности, связанные с обработкой стадий: пр, ир, сф, мз (см. таблицы 2, 3).

=====

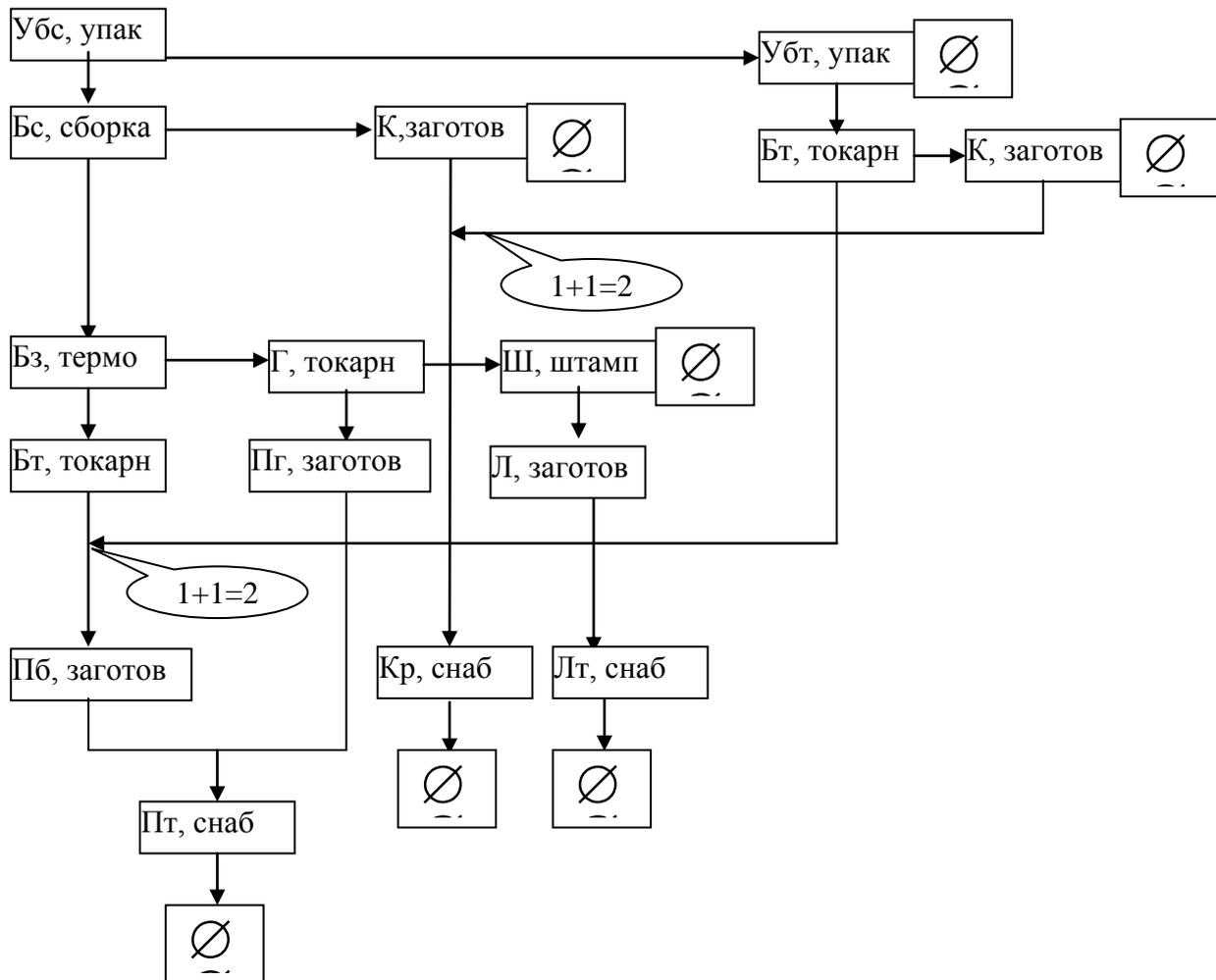
Многостадийная система механической обработки двух видов основных ресурсов:

- Упаковка закалённых болтов в сборе с гайкой и шайбой;
- Упаковка сырых болтов.

Названия выходных, промежуточных и входных ресурсов:

- Убс – упаковка калённых болтов в сборе
- Убт – упаковка сырых болтов
- Бс – болт в сборе
- К – коробка
- Бз – болт закалённый
- Бт – болт после токарной обраб
- Г – гайка
- Ш – шайба
- Пб – пруток 500мм
- Пг – пруток 250мм
- Л – лист 50*50
- Кр – картон в тоннах
- Пт – пруток в тоннах
- Лт – лист в тоннах

Граф состава основных выходных ресурсов U :



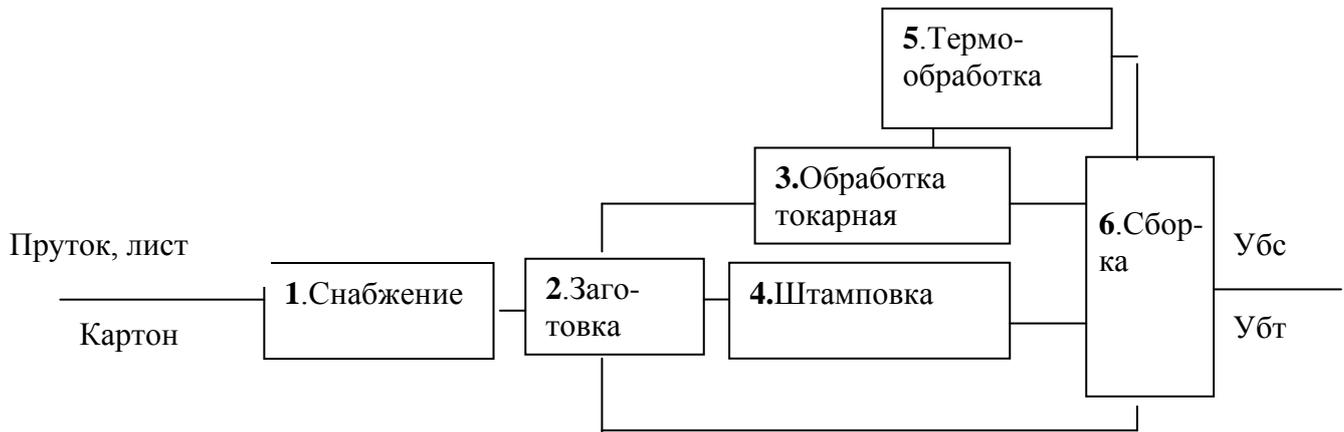
Количество входов графа $K = 2$.

Матрица смежности E' :

	упак	сборка	Термо*	токарн	штамп	заготов	снаб
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	убс, бс	0	убт, бт	0	убс, к; убт, к	0
2	0	0	бс, бз	бс, г	бс, ш	0	0
3	0	0	0	бз, бт	0	0	0
4	0	0	0	0	0	бт, пб(2шт); г, пг;	0
5	0	0	0	0	0	ш, л	0
6	0	0	0	0	0	0	к, кр(2шт) пб, пт(2шт) пг, пт л, лт
7	0	0	0	0	0	0	0

* – вид обработки, помеченный, как несовместимый с другими видами

Структура системы после применения метода группировки комплексов:



Комплексы 1, 3, 4, 5 классифицируются как

Р	1:1	Преобразующий
---	-----	---------------

и имеют особенности, связанные с обработкой стадий: пз, из, сф, мз

Комплекс 2 классифицируется как

Ф	1: n при n > 1	Фрагментирующий (Fork)
---	-------------------	---------------------------

и имеет особенности, связанные с обработкой стадий: пз, из, сф, мз

Комплекс 6 классифицируется как

М	m: 1 при m > 1	Агрегирующий (Merge)
---	-------------------	-------------------------

и имеет особенности, связанные с обработкой стадий: пз, из, сф, мз

(см. таблицы 2, 3).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. APICS dictionary. Edit. Cox J. F., etc. American Production and Inventory Control Society. 1992. – 54 p.
2. Уайт О. У. Управление производством и материальными запасами в век ЭВМ. – М.: Прогресс. 1978. – С. 302.
3. SAP R/3 System. Function in detail. Material Management. Production Planning, SAP. 1994. //Управление материальными потоками. Перевод на рус. яз. 1996 г.
4. Chan F.T.S.1. Effect of kanban size on just-in-time manufacturing systems, Source: Journal of Materials Processing Technology. Volume 116. Number 2. Elsevier Science. 24 October 2001. – 146-160 p.
5. Chakravorty S. S., Atwaters, J. B. Bottleneck management: theory and practice. Production Planning and Control, Taylor and Francis Ltd. Volume 17, Number 5, July 2006. – P. 441-447.
6. Wu H.-H.; Yeh M.-L., A DBR scheduling method for manufacturing environments with bottleneck re-entrant flows. International Journal of Production Research, Taylor and Francis Ltd. Volume 44, Number 5, Number 5/1 March 2006. – P. 883-902.
7. Pegels C., Watrous C. Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant. Journal of Manufacturing Technology Management, Emerald Group Publishing Limited, Volume 16, Number 3, 2005, pp. 302-311(10)
8. Винер Н. Кибернетика. – М., 1968. – 288 с.
9. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Введение в теорию активных систем. – М.: Синтег, 1999. – 128 с.
10. Aoki N., Hiraide K. Topological Theory of Dynamical Systems. Amsterdam, Netherlands: North-Holland, 1994. – 424 p.
11. Вентцель Е. С., Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
12. Лукас В. А. Теория автоматического управления. – М.: Недра, 1990. – 416 с.
13. Организация, планирование и управление предприятием машиностроения. – М.: Высшая школа, 1979.
14. Куприянов Е.М. Стандартизация и качество промышленной продукции. – М.: Высшая школа, 1985.
15. Организация, планирование и управление предприятием радиоэлектронной аппаратуры. Под ред. И.Е. Кукулина и С.В. Моисеева. – М.: Машиностроение, 1979.
16. Джеймс А. Университет Южной Каролины, Спартанбург. Москва • Санкт-Петербург • Киев, 2004. – 252-264 сс.
17. Новиков Ф. А. Дискретная математика для программистов. – Питер, 2000. – С. 192-208.