

# Организация и планирование машиностроительных производств

(С) 2014-2015 Загидуллин Р.Р.

Литература:

- 1) Загидуллин Р.Р. Планирование машиностроительного производства.. Старый Оскол. – Изд-во ТНТ, 2013. – 392 с.
- 2) Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. Старый Оскол: ТНТ. – 2011. – 372 с.

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ

## ПРОИЗВОДСТВА Проблемы планирования работ во времени



Транспор  
рт



Расписан  
ия

Производст  
во



Тема  
1

Понедельник 07.11		14.00	Физика, л/р	Четверг 10.11		14.00	Математика, практика
8.00	Физика, лекция	16.00	Посещение дантиста	8.00	Информатика, л/р	16.00	Математика, практика
10.00	Математика, лекция	18.00	Тренировка	10.00	Информатика, л/р	18.00	Автошкола, права
12.00	Физика, л/р	20.00		12.00	Математика, лекция	20.00	
Вторник 08.11		14.00		Пятница 11.11		14.00	Сходить в кино
8.00	Химия, лекция	16.00	Сходить в бассейн	8.00	Начерт.геом., л/р	16.00	
10.00	Начерт. геом.	18.00	Автошкола, права	10.00	Начерт.геом., л/р	18.00	Тренировка
12.00	Философия, лекция	20.00		12.00	Экология	20.00	
Среда 09.11		14.00	Физкультура	Суббота 12.11		14.00	Химия, л/р
8.00	Информатика, лекция	16.00	Собрание факультета	8.00	Философия, лекция	16.00	
10.00	Иностранный язык	18.00	Тренировка	10.00	Философия, семинар	18.00	Автошкола, права
12.00	Физкультура	20.00		12.00	Химия, л/р	20.00	
2011 год 07 – 13 ноября				Воскресенье			

Добавить  
мероприятия:

Сходить  
в кино

Возможное  
время:

Любое

Автошкола,  
права

Три раза в неделю.  
с 10.00 или с 18.00

Сходить  
в бассейн

Любое

Посещение  
дантиста

Четные дни 8.00-12.00,  
нечетные - с 14.00 до  
18.00

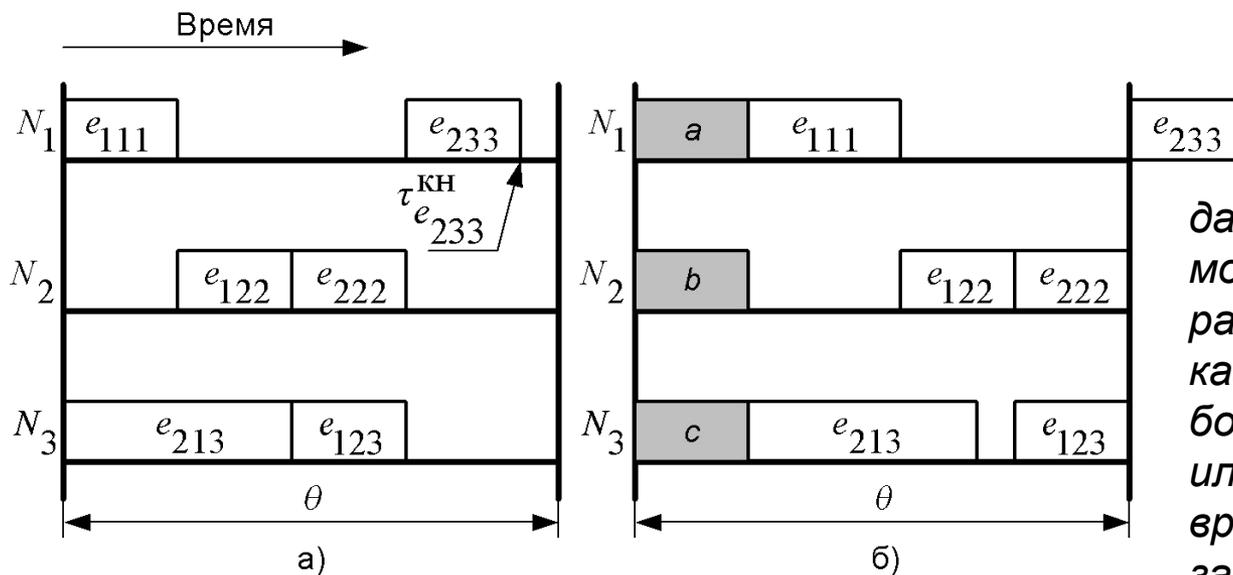
Пример еженедельного расписания  
дел

Замечено, что:

...

1) чем больше степень свободы назначения тех или иных работ, т.е. чем меньше зависимость назначения этих работ от некоего объективного фактора, тем больше возможность построить более эффективное расписание

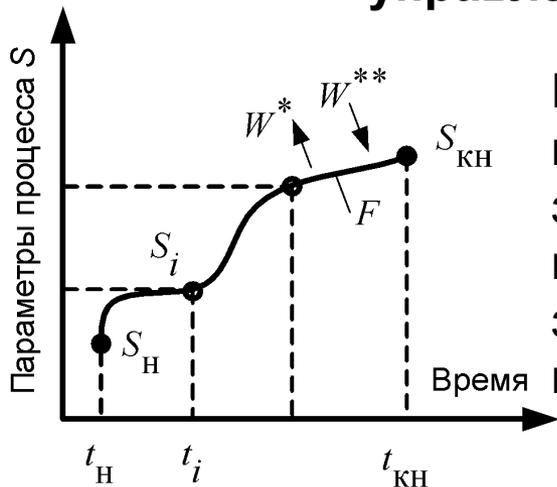
2) наличие тех или иных условий, влияющих на порядок выполнения работ, приводит либо к задачам объемного характера, либо к задачам составления расписаний



далеко не всегда мы можем планировать работы во времени так, как нам хочется. В большинстве случаев те или иные интервалы времени являются уже занятыми

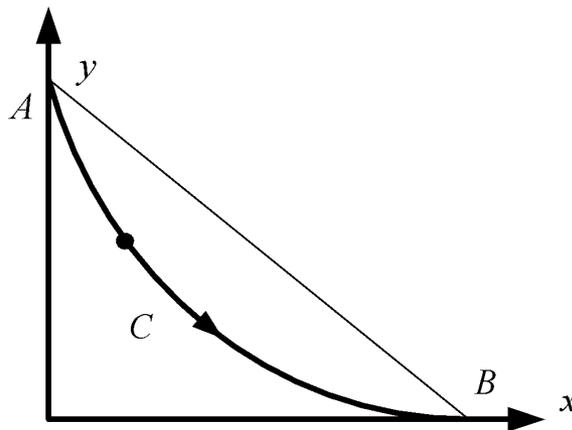
Пример расписания работы оборудования

## Планирование как задача управления



Процесс управления любым объектом всегда протекает во времени и характеризуется тем, что, зная некое состояние системы или объекта в начальный момент времени необходимо задать закон управления для перехода нашей системы в конечное состояние

$$F = f(t_H, t_{KH}, Q_H, Q_{KH}, W^*, W^{**})$$



Задача И. Бернулли о брахистохроне

*Горизонт планирования*, – это интервал времени  $\theta$ , на который мы составляем план работы оборудования.

*Единицами планирования* (ЕП)  $e_{ij}$  называют детали-сборочные единицы (ДСЕ), в определенном количестве одновременно поступающие на обработку на какое-либо рабочее место. Общая номенклатура запуска -  $M\{e_{ij}; i = 1, m; j = 1, p_i\}$

*Незавершенное производство* – весь объем ЕП, которые еще находятся на стадии обработки или ожидают её.

*Обслуживающими устройствами* (ОУ) называют те рабочие позиции, оснащенные или не оснащенные технологическим оборудованием, через которые, согласно технологическому процессу, проходят ЕП. Планирование ведется на множестве ОУ –  $N\{1, \dots, n\}$

*Партией запуска*  $a_{ij}$  называют количество одновременно передаваемых ДСЕ  $e_{ij}$  или – партию ДСЕ которая поступает на обработку на то или иное ОУ.

*Передаточной партией* называют количество ДСЕ, которое меньше по величине партии запуска, одновременно поступающее на ОУ. Сумма всех передаточных партий одной и той же ДСЕ равна партии запуска.

*Программой выпуска* ДСЕ  $A_i$  называется общее количество  $i$ -х ДСЕ, выпускаемых предприятием. В ряде случаев программа выпуска равна партии запуска, в других случаях – больше.

(продолжение....)

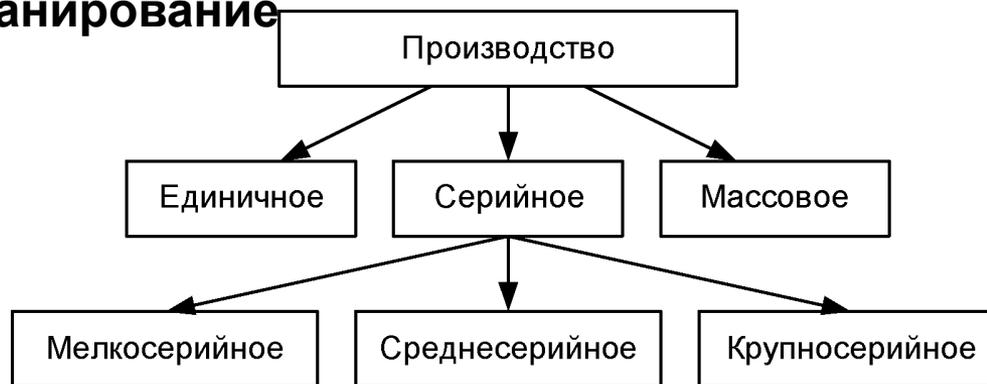
*Переналадкой оборудования* называют процесс переоснащения технологического оборудования перед поступлением на него новой ЕП.

*Простой оборудования* – период времени, когда то или иное ОУ не выполняет свою основную функцию – обработку ДСЕ.

*Транспортная операция* – операция, в ходе которой та или иная ЕП перемещается с одного ОУ на другое согласно ТП изготовления.

*Серия* – общее количество изделий или машин, подлежащих изготовлению по неизменяемому чертежу.

*Фонд времени ОУ* – время, которое отпущено ОУ для работы на горизонте планирования. Фонд времени может быть равен или больше горизонта планирования. У различных ОУ одного множества  $N$  на одном и том горизонте планирования фонд времени может быть разным.



Классификация производств по серийности

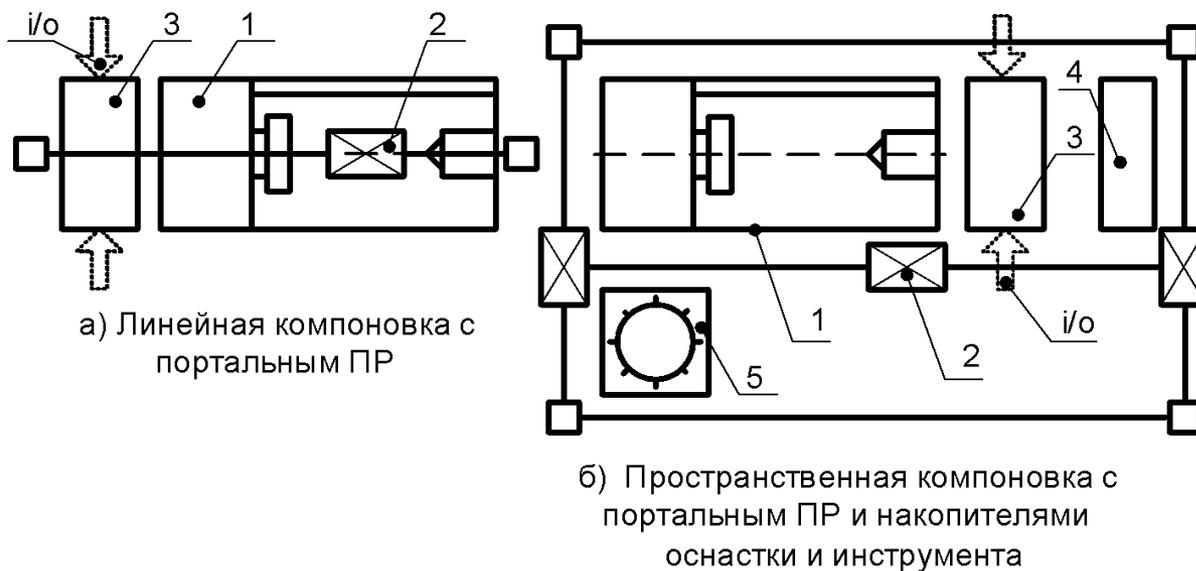
*Единичное* производство характеризуется тем, что производится одна или несколько неповторяющихся уникальных изделий.

*Серийное* – когда периодически производятся изделия по неизменяемым чертежам в течение определенного промежутка времени (год, квартал). При этом может быть произведено по одному или весьма малому количеству изделий (мелкосерийное).

*Массовое* производство характеризуется производством изделий в массовом количестве по неизменным чертежам в течение длительного промежутка времени.

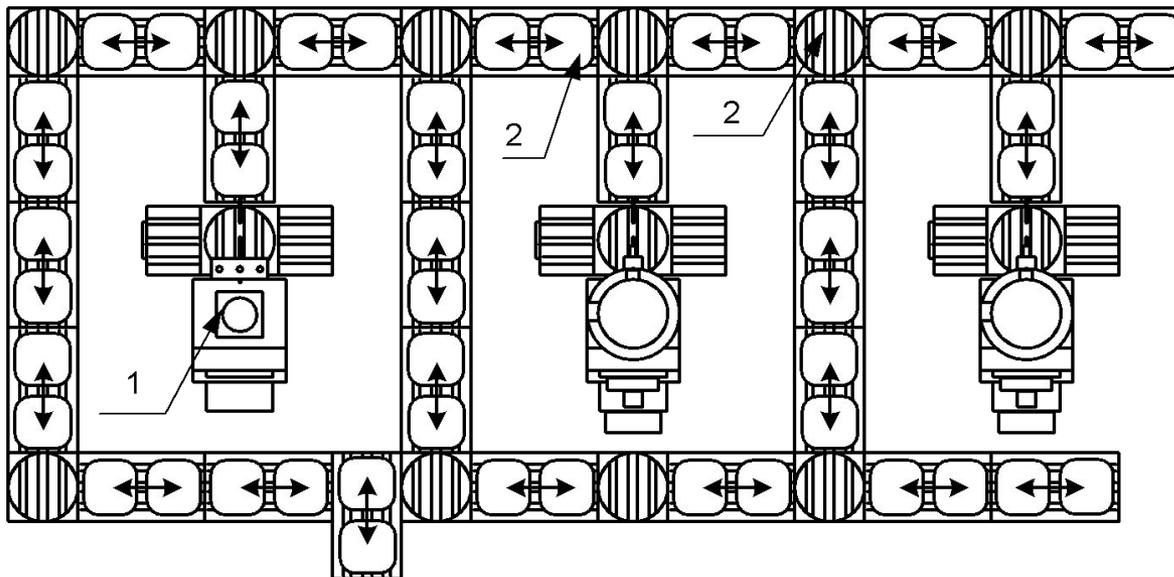
Кроме того, по способу движения изделий различают *поточное* производство и *непоточное*. При поточном детали находятся в непрерывном движении и время пролеживания детали между операциями равно или кратно такту. При непоточном производстве заготовки и детали находятся в движении с различной продолжительностью операций и пролеживанием деталей между операциями. При этом процесс идет с меняющейся величиной такта.

*Чем выше уровень автоматизации производства, тем больше возможностей для построения на предприятии эффективной системы планирования.*



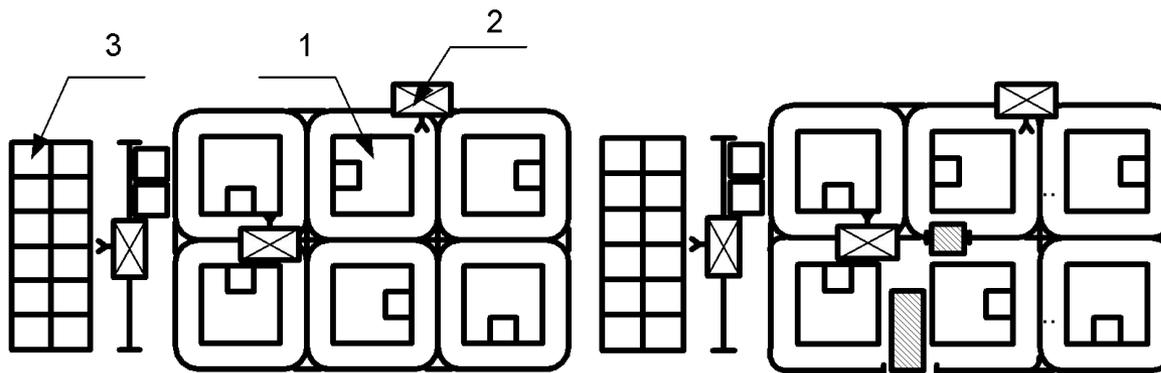
#### Компоновки ГПМ:

1 – станок; 2 – промышленный робот; 3 –накопитель деталей; 4 – накопитель оснастки; 5 – накопитель инструментов; *i/o* – доступ в ГПМ



Компоновка ГПС сверлильно-фрезерной группы:

1- технологическое оборудование, 2 – элементы транспортной и накопительной системы

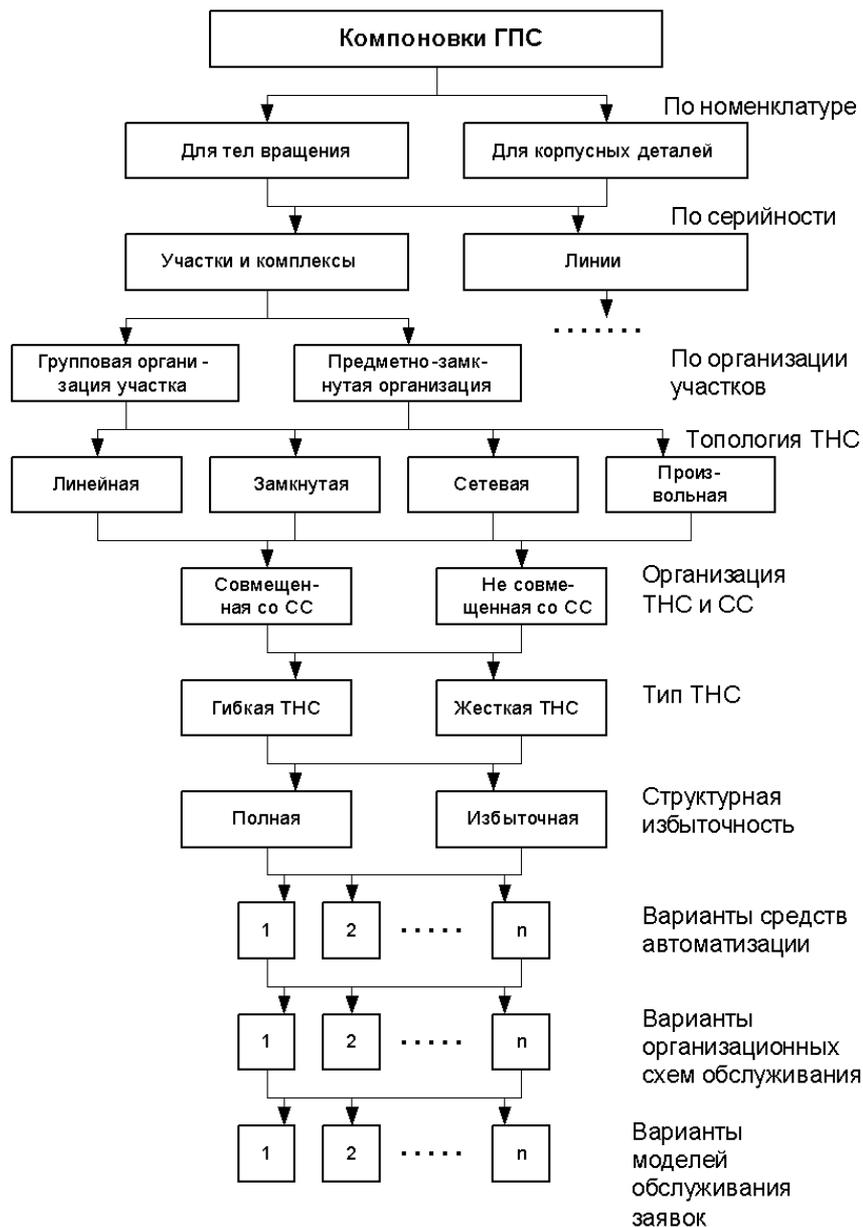


а) Открытая компоновка ГПС

б) Компоновка ГПС с препятствиями

Варианты компоновок ГПС:

1 – ГПМ, 2 – транспортное средство, 3- складская система



Влияние разнообразия компоновочных факторов производственных систем на модели планирования

## Основные требования к системам планирования

- определение оптимального объема выпускаемой продукции;
- составление расписания функционирования производственной системы;
- определение графика работы транспортных и складских систем;
- получение оперативной информации о выполнении плана;
- корректировка плана в зависимости от ситуации;
- планирование заказов на инструмент, оснастку и материалы;
- сбор информации о ходе ТП и ее классификация.

№	Классификационный признак	Параметры признака
1	Стадийность	{одностадийные/многостадийные}
2	Количество обслуживающих устройств	{ $n=1$ , $n>1$ }
3	Наличие горизонта планирования	{имеется/не имеется}
4	Вид критерия построения расписания	{единичный/векторный}
5	Характер критерия по отношению к портфелю заказов	{частный/общий}
6	Характер критерия по достижению эффективности производственной системы	{частный/общий}
7	Количество критериев в системе планирования	{один критерий/множество критериев}
8	Возможность расширения базы критериев	{имеется/не имеется}
9	Вид алгоритма	{аналитический/эвристический}
10	Характер алгоритма	{без оптимизации/с оптимизацией}
11	Регулирование глубины поиска в алгоритме	{имеется/не имеется}
12	Наличие множества решений алгоритма	{имеется/не имеется}
13	Учитываемые классы ОУ	{ $N$ }, { $R$ }, { $S$ }, { $P$ }
14	Характер технологических маршрутов	{фиксированный/нефиксированный}
15	Время переналадки оборудования	{детерминированное/переменное}
16	Учет последствий	{с учетом, без учета}
17	Планирование на множестве альтернативных ТП	{имеется/не имеется}
18	Параметры обслуживания транспортно-накопительной системы и др. элементов	{аналитические/усредненные}

19	Прерывание партий запуска	{имеется/не имеется}
20	Целостность передачи партий запуска	{имеется/не имеется}
21	Поддержка нерегулярности партий запуска ЕП	{имеется/не имеется}
22	Характер единиц планирования	{деталь/сборочная единица}
23	Учет емкости склада	{имеется/не имеется}
24	Учет незавершенного производства	{имеется/не имеется}
25	Возможность построения межцеховых расписаний	{имеется/отсутствует}
26	Однородность моделей планирования для случая межцеховых расписаний	{однородные/неоднородные}
27	Наличие системы расчета или назначения приоритетов для ЕП	{имеется/не имеется}
28	Учет многостаночности	{учитывается/не учитывается}
29	Наличие функции диспетчирования	{имеется/не имеется}
30	Возможность пересчета расписания	{имеется/не имеется}

# Идентификация задач планирования

## Существующие решения

ERP (*Enterprise Resource Planning*)

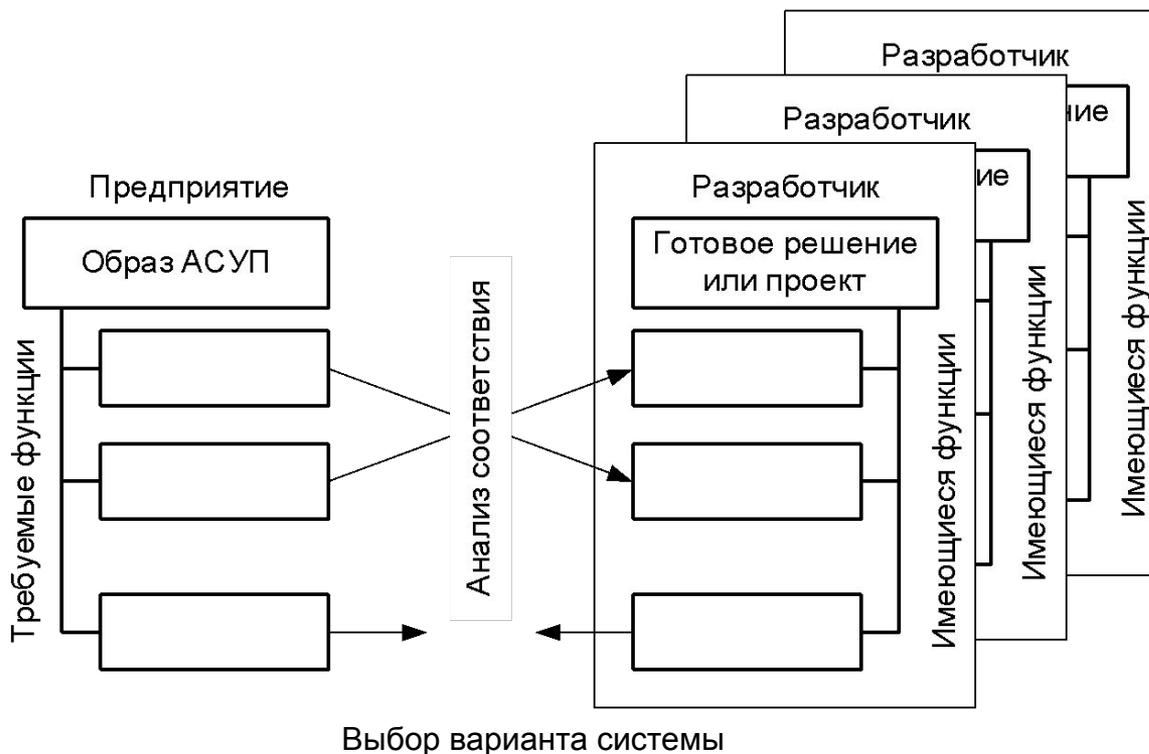
APS (*Advanced Planning & Scheduling Systems*)

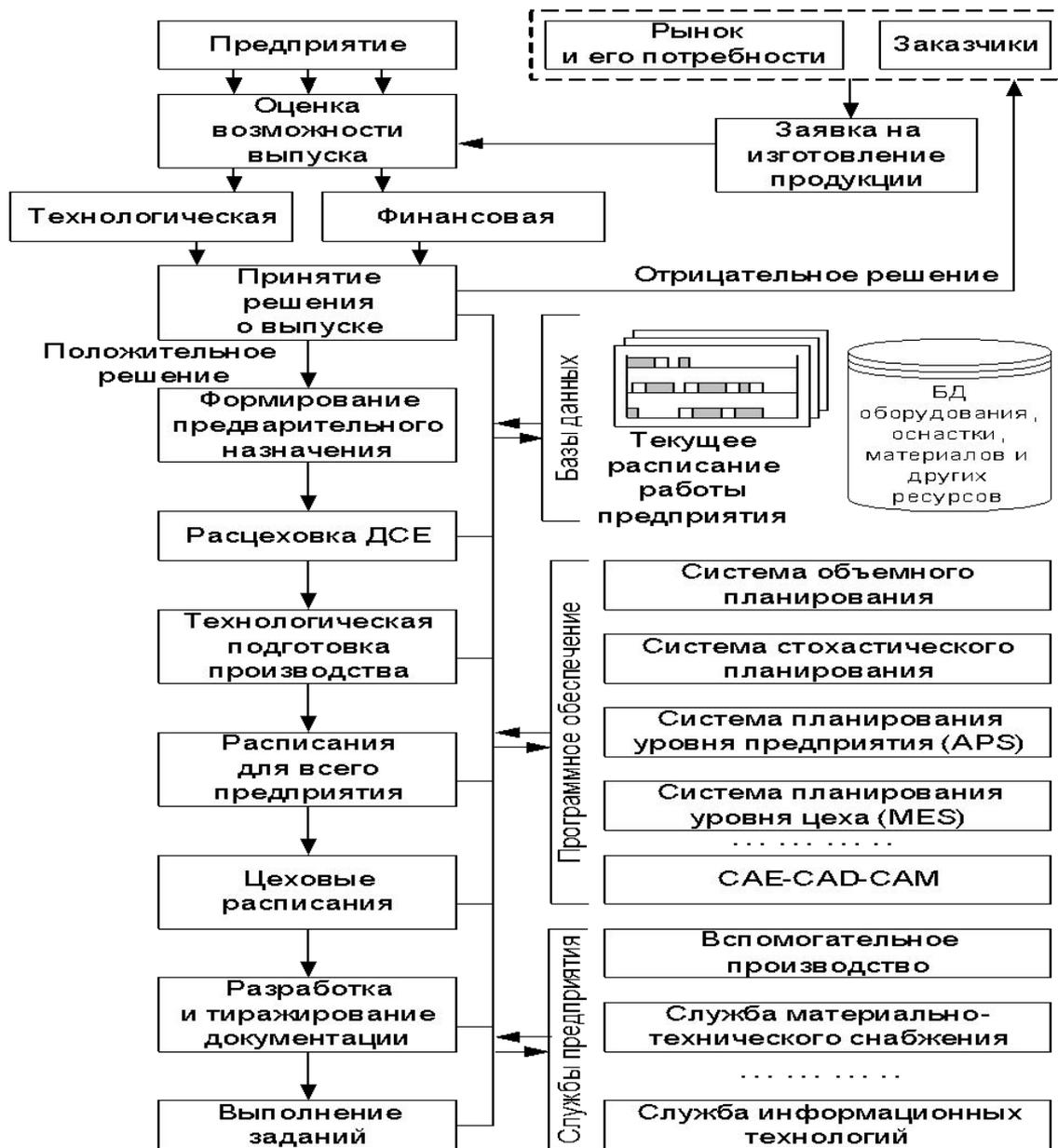
MES (*Manufacturing Execution Systems*).

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*)

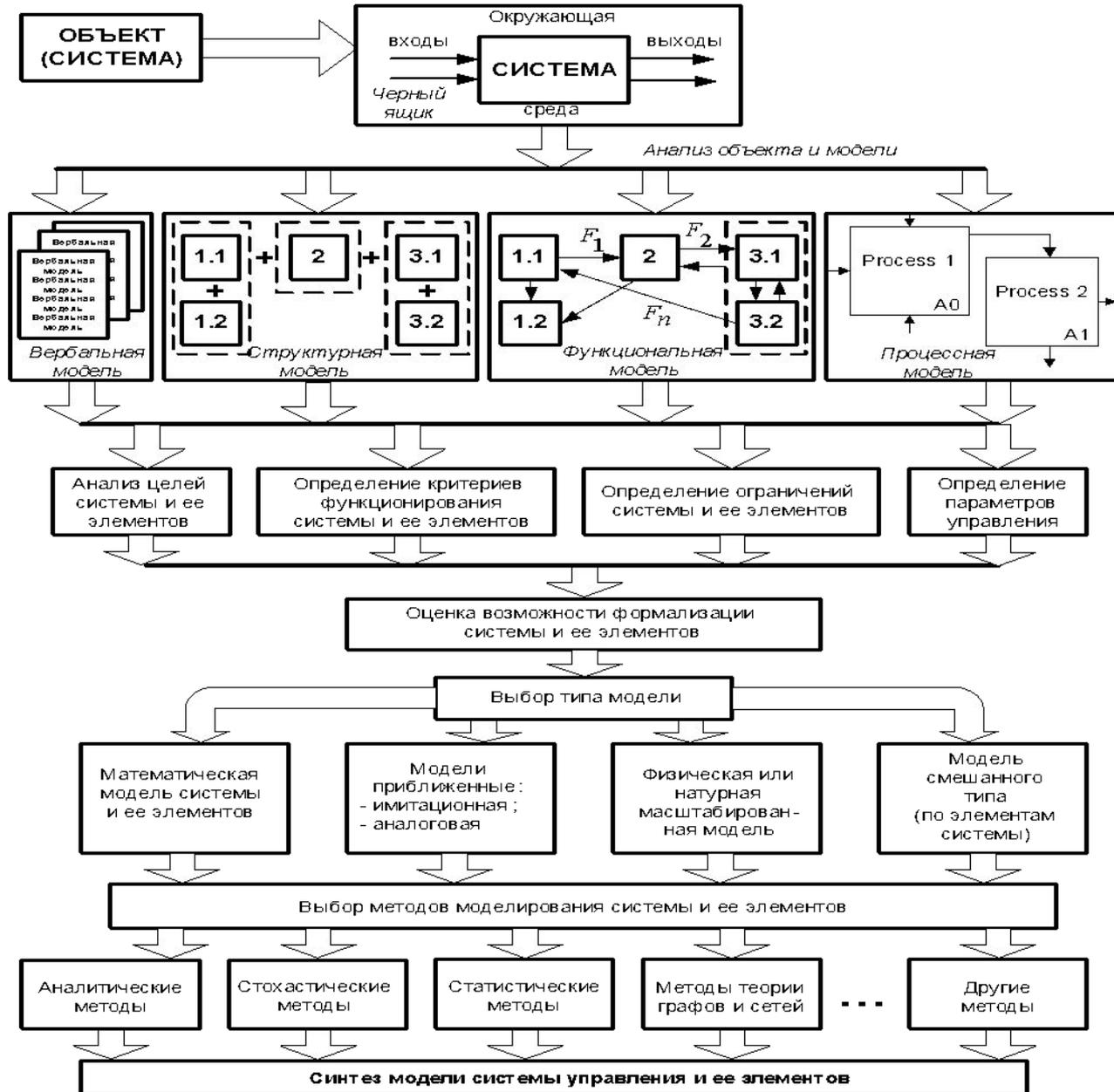
PDM (*Product Data Management*) или PLM (*Product Lifecycle Management*).

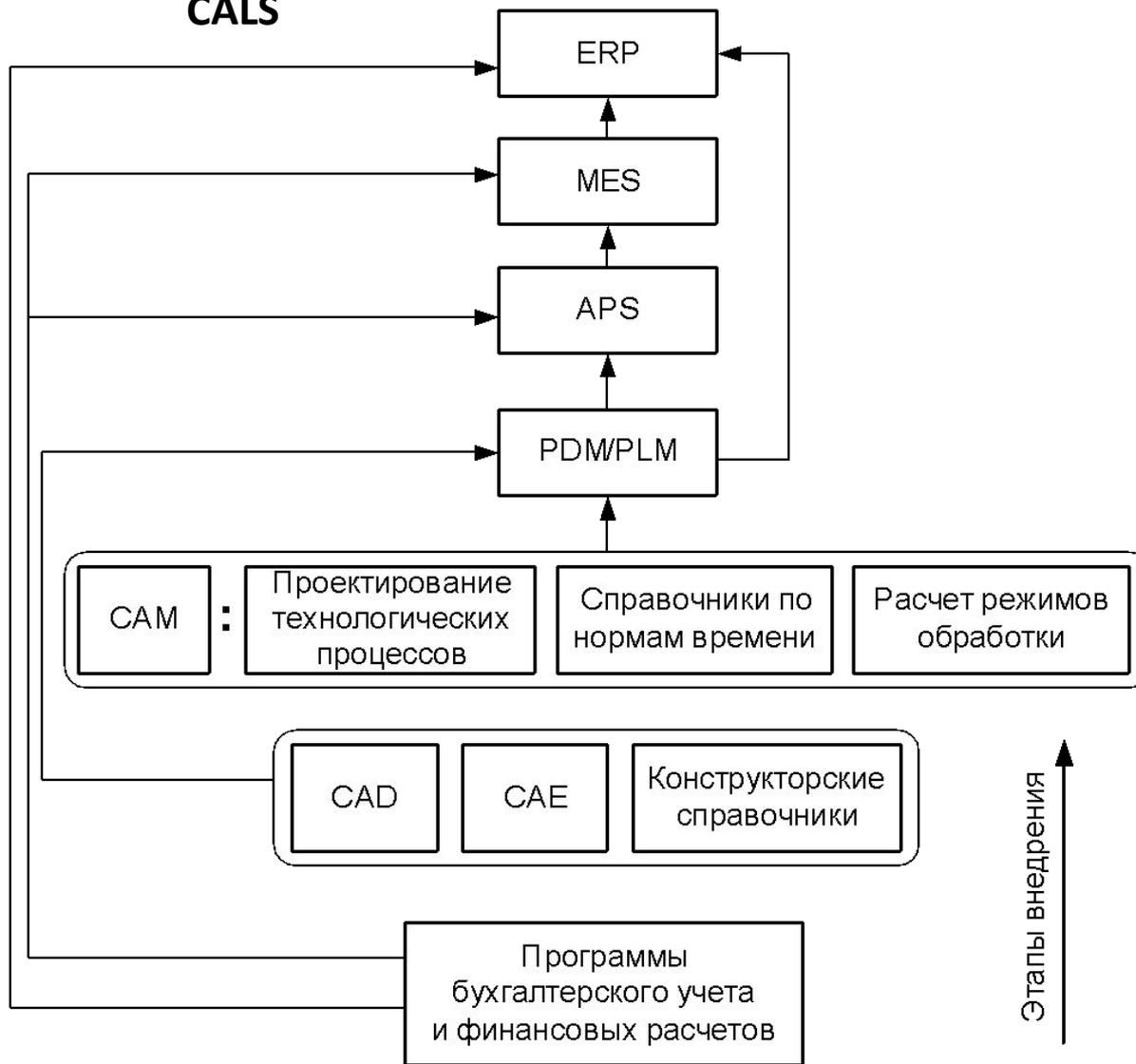
Концепция CALS (*Computer Aided Logistic Support, Continuous Acquisition and Life cycle Support*).



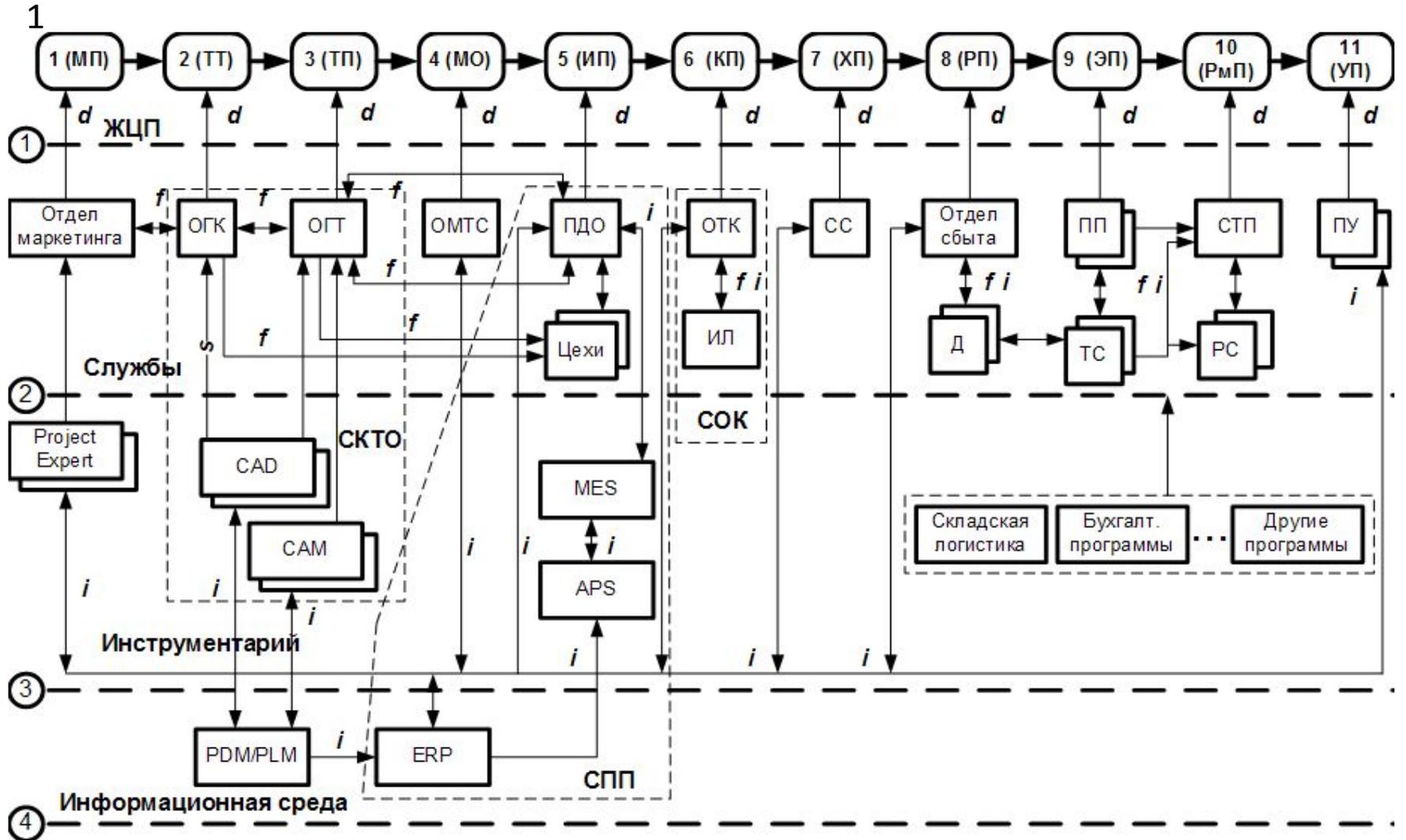


1

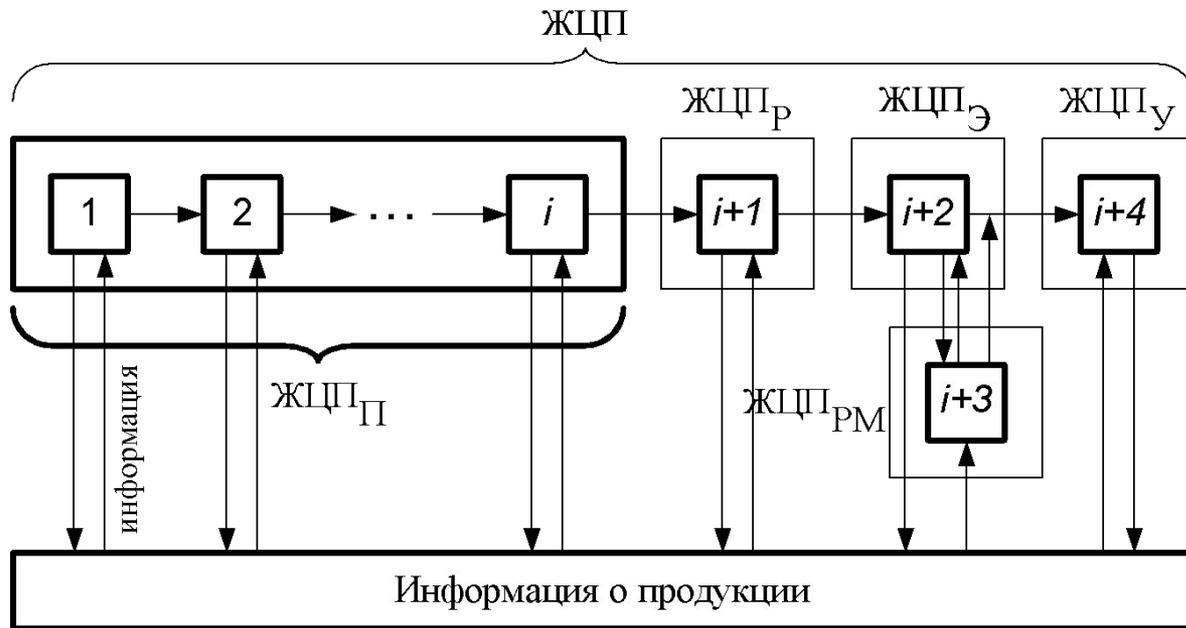




Этапы внедрения информационных технологий в АСУП

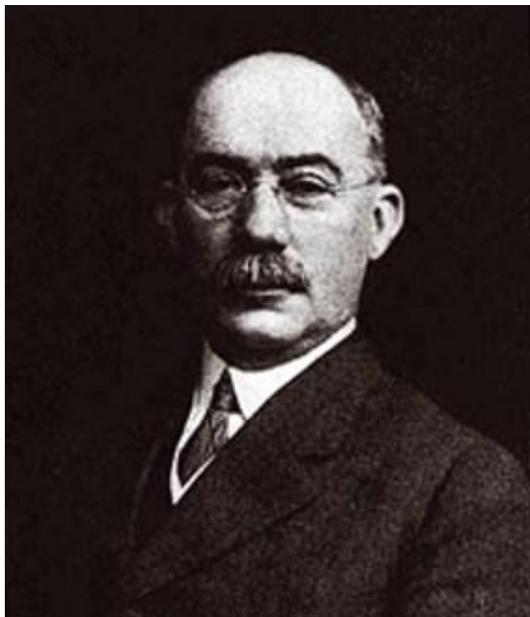


Структура производственной системы с точки зрения CALS



Жизненный цикл продукции на предприятии

## История систем планирования производства



Генри Гантт (1861 –  
1919)



Л. В. Канторович (1912 –  
1986)

- 1. Порядок, в котором должна выполняться работа, теперь определяется в офисе «белым воротничком», а не красильщиком.*
- 2. Точная запись лучшего метода крашения в любой оттенок хранится в офисе, соблюдается мастером и более не зависит от записной книжки красильщика или его памяти.*
- 3. Все красильщики и машинисты поощряются материально, когда следуют инструкциям или, наоборот, наказываются, когда они не делают этого.*

# СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ

## Планирование производства с помощью аппарата математического программирования

*Оптимальное решение – это решение для объекта или системы, выбранное из всего множества допустимых решений и удовлетворяющее какому-либо критерию оптимальности.*

Задача ЛП в стандартной форме с  $m$  ограничениями и  $n$  переменными имеет вид:

Требуется максимизировать или минимизировать линейную форму

$$F = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

при наличии системы ограничений

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1,$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2,$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m,$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0,$$

$$b_1 \geq 0, b_2 \geq 0, \dots, b_m \geq 0.$$

## Задача о загрузке оборудования (задача 1)

Имеется парк оборудования  $N = \{n\}$ , на котором необходимо выпустить продукцию – множество  $M = \{m\}$ . Каждая единица продукции по ходу ТП, для простоты примера, имеет только одну операцию –  $p_i = 1, i \in M$ . Пусть каждая единица продукции может быть обработана на любом из  $n$  станков – известно время обработки на любом  $k$ -ом станке –  $t_{ik}, i \in M, k \in N$ . Кроме того, известна себестоимость изготовления –  $c_{ik}, i \in M, k \in N$ , а также стоимость продукции на рынке –  $S_i, i \in M$  (для упрощения будем считать прибылью разницу между стоимостью и себестоимостью). Продукция должна выпускаться в течении определенного времени, т.е. известен фонд времени оборудования –  $\Phi_k, k \in N$ . Кроме того, рынок продукции, как известно, не безграничен и по каждому виду продукции имеется ограничение на количество –  $A_i, i \in M$ .

Требуется так составить план производства, чтобы максимизировать прибыль предприятия. Математическая модель имеет следующий вид.

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ik} (S_i - c_{ik}) \rightarrow \max \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^m t_{ik} x_{ik} \leq \Phi_k, k = 1, n \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ik} \leq A_i \quad (2.5)$$

$$x_{ik} \geq 0 \quad (2.6)$$

$$x_i = ?$$

2

The screenshot shows the Maple 10 software interface with a linear programming problem being solved. The window title is '\*Maple 10 - D:\1.mws - [Server 1]'. The menu bar includes File, Edit, View, Insert, Format, Table, Plot, Spreadsheet, Sketch, Tools, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations, editing, and navigation. The text area shows the following code and results:

```

c21 := 15
c22 := 22
c31 := 30
c32 := 35
(4)

> S1 := 50; S2 := 70; S3 := 65;
S1 := 50
S2 := 70
S3 := 65
(5)

> F := x11*(S1-c11) + x12*(S1-c12) + x21*(S2-c21) + x22*(S2-c22)
+ x31*(S3-c31) + x32*(S3-c32);
F = 30 x11 + 25 x12 + 55 x21 + 48 x22 + 35 x31 + 30 x32
(6)

> Ogr := {x11*t11 + x21*t21 + x31*t31 ≤ FS1, x12*t12 + x22*t22 + x32*t32 ≤ FS2,
x11 + x12 ≤ A1, x21 + x22 ≤ A2, x31 + x32 ≤ A3, x11 ≥ 0, x12 ≥ 0, x21 ≥ 0,
x22 ≥ 0, x31 ≥ 0, x32 ≥ 0};
Ogr
:= {0 ≤ x11, 0 ≤ x12, 0 ≤ x21, 0 ≤ x22, 0 ≤ x31, 0 ≤ x32,
2 x11 + 5 x21 + 7 x31 ≤ 480, 3 x12 + 6 x22 + 8 x32 ≤ 480, x11 + x12 ≤ 100,
x21 + x22 ≤ 100, x31 + x32 ≤ 100}
(7)

> LPSolve(F, Ogr, assume = integer, maximize);
[9002., [x11 = 100, x12 = 0, x21 = 56, x22 = 44, x31 = 0, x32 = 27]]
(8)

```

The status bar at the bottom indicates 'Ready', 'Memory: 4.62M', 'Time: 5.27s', and 'Math Mode'.

Образ программы линейного программирования

В кратчайшие сроки, которые можно задать как определенную длительность, необходимо расселить  $n$  жителей временного поселка, для чего необходимо собрать сборные домики, которых имеется несколько типов – множество  $L\{1..l\}$ . Домики различаются: вместимостью, стоимостью и сроками сборки. Домики собирает  $m$  строительных бригад  $M\{1..m\}$  и каждая бригада собирает каждый тип домика за время, соответствующее своей квалификации. Кроме того, для каждой бригады стоимость сборки каждого типа домиков – различная. Общую длительность всего проекта обозначим через  $T$ . Соответственно, фонд времени каждой бригады равен длительности всего проекта, т.е.

$$\Phi_j = T, \quad j \in M\{m\} \quad (2.6)$$

Длительность сборки каждого  $i$ -го типа домиков каждой  $j$ -й бригадой определяется величиной  $t_{ij}, i \in L, j \in M$ . Вместительность каждого  $i$ -го типа домиков обозначим через  $v_i, i \in L$ . Стоимость каждого  $i$ -го типа домиков, собранных  $j$ -й бригадой обозначим через  $c_{ij}, i \in L, j \in M$ . Количество домиков каждого типа обозначим через  $x_i, i \in L$ , но поскольку каждый тип домика, как мы условились ранее, может собирать любая  $j$ -я бригада, то количество домиков, каждого  $i$ -го типа, собранного  $j$ -й бригадой уже будем учитывать как  $x_{ij}, i \in L, j \in M$ . Тогда математическая модель задачи в терминах ЛП будет иметь следующий вид:

$$F = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m x_{ij} c_{ij} \rightarrow \min, \quad i \in L, j \in M \quad (2.7)$$

$$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m x_{ij} v_i = n, \quad j = 1, m \quad (2.9)$$

$$\sum_{i=1}^l x_{ij} t_{ij} \leq \Phi_j, \quad j = 1, m \quad (2.8)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (2.10)$$

2 матрица возможности обработки

$$M_{BO_k} \{d_1 \{e_{11k}^{BO}(1/0), e_{12k}^{BO}(1/0), \dots, e_{1h_1k}^{BO}(1/0)\}, \dots, d_n \{e_{n1k}^{BO}(1/0), \dots, e_{nh_nk}^{BO}(1/0)\}\} \quad (2.30)$$

возможность обработки

$$\sum_{k=1}^n e_{ijk}^{BO} \geq 1, \quad i \in M, j \in [1, p_i], k \in N \quad (2.31)$$

Математическая модель предварительного объемного планирования имеет следующий вид:

$$F_l \rightarrow \min, l \in \{1, f\}; \quad (2.32)$$

$$T_{ПЕР} = \{t_{ПЕР} e_{ijk}\}; \quad (2.36)$$

$$\sum_i^m \sum_{j=1}^{p_i} e_{ijk} e_{ijk}^{BO} (a_{ij} t_{Oe_{ijk}} + t_{ПЕР} e_{ijk}) < \Phi_{Ck}, k=1, n; n \in N; \quad (2.33)$$

$$T_{TP} = \{t_{TPsk} \mid s, k \in N\}; \quad (2.37)$$

$$T_O = \{t_{Oe_{ijk}}\}; \quad (2.38)$$

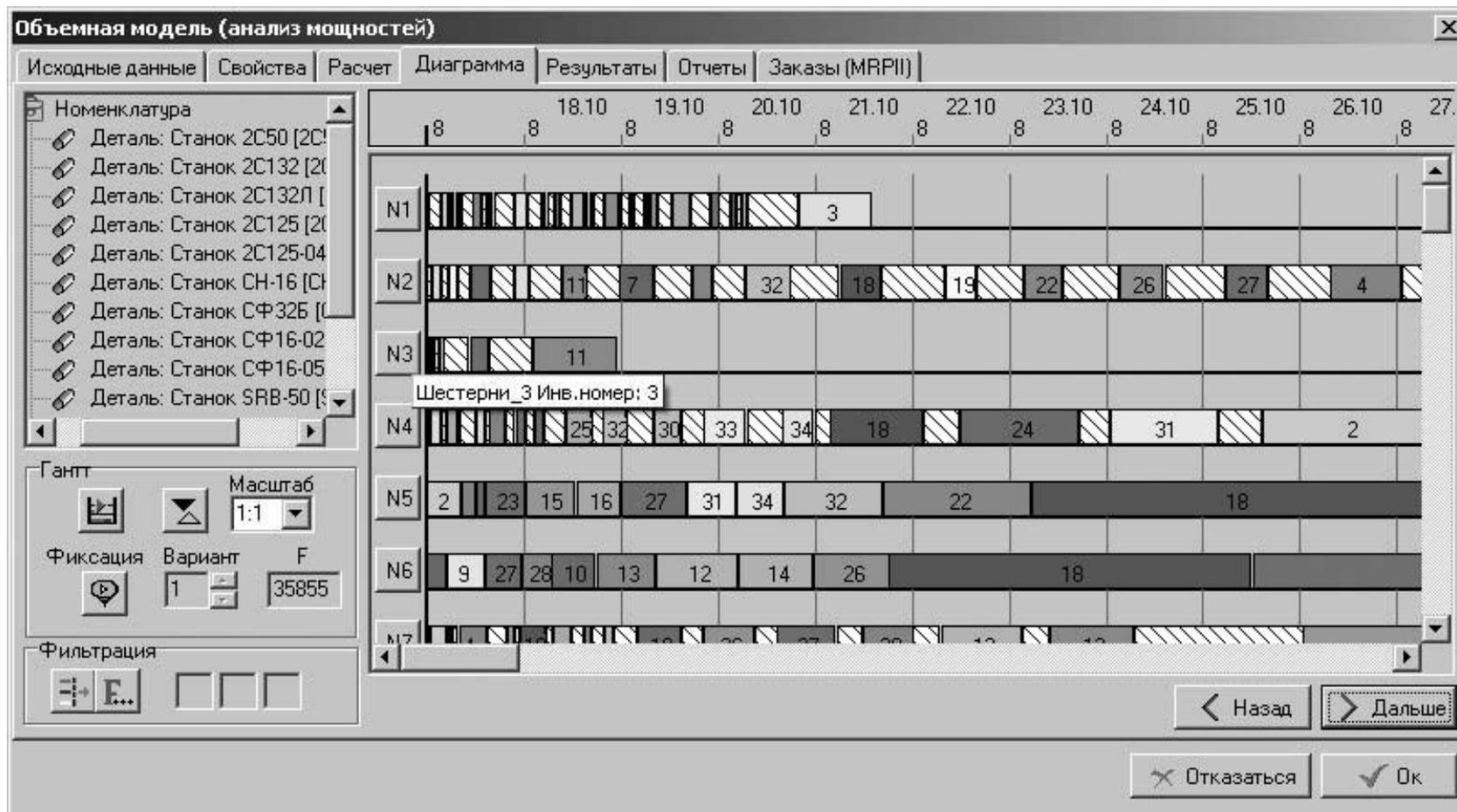
$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} e_{ijk} e_{ijk}^T t_{TPsk} < \sum_{l=1}^r \Phi_{Tl}; l \in R; \quad (2.34)$$

$$N = \{1, n \mid n \geq 1\}; M = \{1, m \mid m > 1\}; R = \{1, r \mid r \geq 1\}, \quad (2.39)$$

$$e_{ijk}^T \begin{cases} 1, & \exists e_{ij-1,s} \mid e_{ij-1,s} \subset \Phi_{Cs} \vee s \neq k, \\ 0 & \end{cases} \quad s, k \in N \quad (2.35)$$

## Критерии планирования задачи загрузки мощностей

№	Формулировка критерия	Формальный образ критерия
1	Критерий максимума загрузки оборудования	$F_1 = \sum_{k=1}^n (\Phi_{Ck} - \Phi'_{Ck}) \rightarrow \max$
2	Критерий равномерной загрузки оборудования	$F_2 = (\max(\Phi_{Ck} - \Phi'_{Ck}) - \min(\Phi_{Cs} - \Phi'_{Cs})) \rightarrow \min, k, s \in N$
3	Критерий минимума используемого парка РЦ	$F_3 = (n'   \Phi'_{Ck} = 0) \rightarrow \min$
4	Критерий минимума использования транспортных средств	$F_4 = (r'   \Phi'_{TPl} = 0) \rightarrow \min$
5	Критерий минимума количества транспортных операций	$F_5 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} e_{ijk}^T \rightarrow \min$



Решение задачи загрузки мощностей в MES PolyPlan

В задачах сетевого планирования каждый проект может быть представлен множеством работ, от 1 до  $n$ . В свою очередь каждая работа может быть представлена несколькими стадиями, от 1 до  $n_p$ . Все эти стадии в каждом проекте должны быть упорядочены относительно друг друга, т.е. между ними должно соблюдаться отношение предшествования.

В сетевом планировании с помощью, как с помощью PERT, так и МКП, необходимо соблюдать следующие правила.

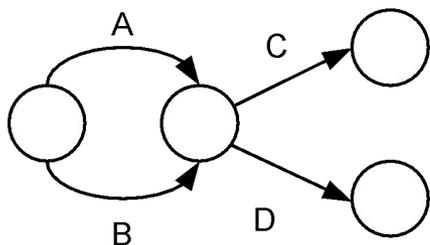
1. Должен быть определен полный состав работ и их стадий.
2. Для всех работ и их стадий должны быть определены последовательности их выполнения.
3. Должны быть определены длительности выполнения всех работ и их стадий.
4. Все работы должны выполняться без прерываний.
5. Выполнение любой  $i+1$ -й работы может быть начато несколько позже окончания  $i$ -й работы, для этого определяется соответствующий резерв времени, но никакая  $i+1$ -я работа не может начаться раньше окончания  $i$ -й работы.

Минимальная продолжительность проекта определяется последовательностью работ, составляющих самый длинный путь через сеть, который называется *критическим путем*, а составляющие его работы – *критическими работами*. Любое увеличение их продолжительности или любая задержка в их выполнении увеличивают время осуществления всего проекта.

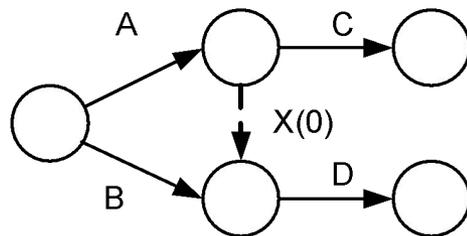
2

Сети, с помощью которых строятся модели, должны обладать следующими свойствами.

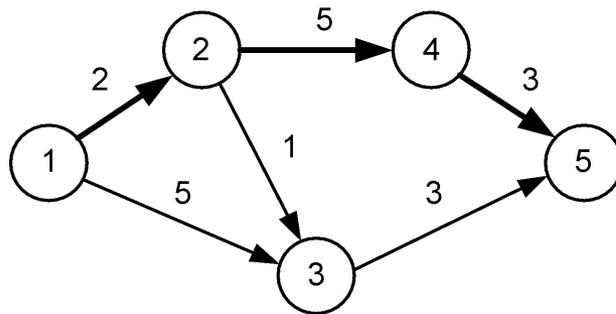
1. Каждая вершина означает некое событие, которое свершилось благодаря одной или нескольким работам-дугам, которые входят в эту вершину
2. Каждая дуга сети должна иметь строго определенную ориентацию (указывается стрелочкой).
3. Каждой дуге соответствует вес, равный длительности работы.
4. Сеть должна быть бесконтурной.
5. В сети не допускается вероятностное ветвление из вершин.
6. Никакая работа не может начинаться раньше, чем будут завершены все предыдущие ей работы.
7. Работы надо помечать так, чтобы ее ориентированная дуга начиналась в узле, имеющем меньший номер, чем узел, в котором она заканчивается.



Неправильное построение сети



Правильное построение сети



- 1) 1 □ 2 □ 4 □ 5 : 10
- 2) 1 □ 2 □ 3 □ 5 : 6
- 3) 1 □ 3 □ 5 : 8.

Пример с фиктивной вершиной в сети

## Резервы времени и сроки появления событий

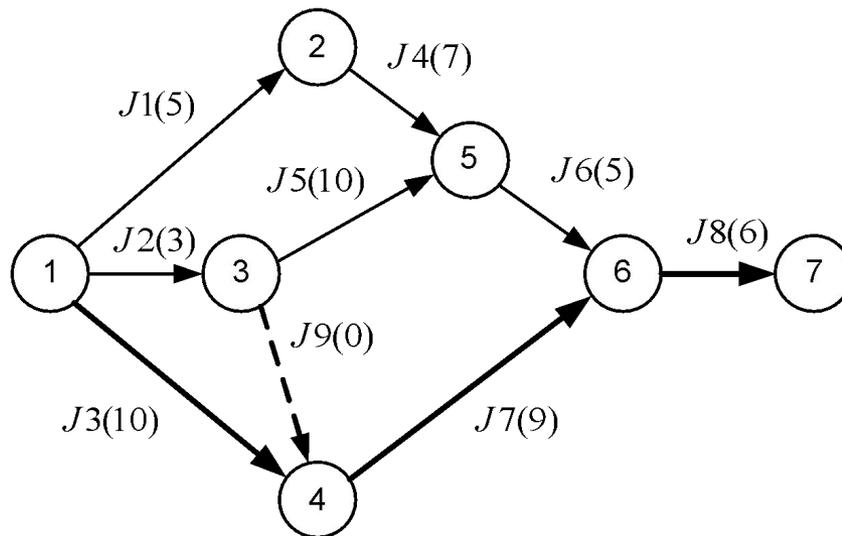


Таблица работ

Работа и ее описание	Длительность	Предшествующие работы
<i>J1</i> – Приобретение комплектующих для узла <i>A</i>	5	отсутствуют
<i>J2</i> – Приобретение комплектующих для узла <i>B</i>	3	отсутствуют
<i>J3</i> – Приобретение комплектующих для узла <i>C</i>	10	отсутствуют
<i>J4</i> – Изготовление узла <i>A</i>	7	<i>J1</i>
<i>J5</i> – Изготовление узла <i>B</i>	10	<i>J2</i>
<i>J6</i> – Испытание узла <i>A</i>	5	<i>J4, J5</i>
<i>J7</i> – Изготовление узла <i>C</i>	9	<i>J2, J3</i>
<i>J8</i> – Сборка изделия	6	<i>J6, J7</i>

$T_j(E)$  - наиболее ранний возможный срок завершения всех работ, подходящих к  $j$ -му узлу.

Самый длинный путь от начального узла до  $j$ -го узла определяется как

$$T_j(E) = \max_r [T_j(P_k)], \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.41)$$

Самый ранний возможный срок наступления  $j$ -го события определяется как

$$T_j(E) = \max_{i < j} \{T_i(E) + t_{ij}\}, \quad 2 \leq j \leq n \quad (2.42)$$

Для нашего примера

$$T_1(E) = 0$$

$$T_2(E) = T_1(E) + t_{12} = 0 + 5 = 5$$

$$T_3(E) = T_1(E) + t_{13} = 0 + 3 = 3$$

$$T_4(E) = \max \left\{ \begin{array}{l} T_3(E) + t_{34} = 3 + 0 = 3 \\ T_1(E) + t_{14} = 0 + 10 = 10 \end{array} \right\} = 10$$

$$T_5(E) = \max \left\{ \begin{array}{l} T_1(E) + T_2(E) + t_{25} = 0 + 5 + 7 = 12 \\ T_1(E) + T_3(E) + t_{35} = 0 + 3 + 10 = 13 \end{array} \right\} = 13$$

$$T_6(E) = \max \left\{ \begin{array}{l} T_1(E) + T_2(E) + T_5(E) + t_{56} = 0 + 5 + 7 + 5 = 17 \\ T_1(E) + T_3(E) + T_5(E) + t_{56} = 0 + 3 + 10 + 5 = 18 \\ T_1(E) + T_3(E) + T_4(E) + t_{46} = 0 + 3 + 0 + 9 = 12 \\ T_1(E) + T_4(E) + t_{46} = 0 + 10 + 9 = 19 \end{array} \right\} = 19$$

$$T_7(E) = T_6(E) + t_{67} = 19 + 6 = 25$$

Путь 1-4-6-7 имеет наибольшую оценку и является критическим для данной сети

- 2 Далее рассчитаем наиболее поздний допустимый срок наступления каждого события в нашей сети, т.е. срок наступления события, который не влияет на время завершения всего проекта, который обозначим как  $T_i(L)$

$$T_i(L) = T_n(L) - \min[t_{in}], \quad i \leq n-1 \quad (2.43)$$

$$T_i(L) = \min_{j>i} [T_j(L) - t_{ij}], \quad 1 \leq i \leq n-1 \quad (2.44)$$

Для нашего примера

$$T_7(L) = T_7(E) = 25$$

$$T_6(L) = T_7(E) - t_{78} = 25 - 6 = 19$$

$$T_5(L) = T_6(E) - t_{67} = 19 - 5 = 14$$

$$T_4(L) = T_6(E) - t_{46} = 19 - 9 = 10$$

$$T_3(L) = \min \left\{ \begin{array}{l} T_5(E) - t_{35} = 14 - 10 = 4 \\ T_4(E) - t_{34} = 10 - 0 = 10 \end{array} \right\} = 4$$

$$T_2(L) = T_5(E) - t_{25} = 14 - 7 = 7$$

$$T_1(L) = \min \left\{ \begin{array}{l} T_2(E) - t_{12} = 7 - 5 = 2 \\ T_3(E) - t_{13} = 4 - 3 = 1 \\ T_4(E) - t_{14} = 10 - 10 = 0 \end{array} \right\} = 0$$

Жогда мы вычислили наиболее ранние и поздние сроки наступления событий, вычислим резервы времени для этих событий.

Резерв времени для любого  $i$ -го события, который обозначим через  $S_i$ , представляет собою максимальное время, на которое можно задержать наступление данного события без соответствующей задержки срока завершения всего проекта. Резерв времени определяется как разность между наиболее поздним и наиболее ранним моментами наступления события, т.е.

$$S_i = T_i(L) - T_i(E) \quad (2.45)$$

Результирующая таблица сетевого проекта

Работа, ее события и описание	$t_{ij}$	Ранние сроки		Поздние сроки		$S_j$	КП
		$ES_{ij}$	$EF_{ij}$	$LS_{ij}$	$LF_{ij}$		
J1 (1-2) – Приобретение комплектующих для узла A	5	0	5	2	7	2	
J2 (1-3) – Приобретение комплектующих для узла B	3	0	3	1	4	1	
J3 (1-4) – Приобретение комплектующих для узла C	10	0	10	0	10	0	*
J4 (2-5) – Изготовление узла A	7	5	12	7	14	2	
J5 (3-5) – Изготовление узла B	10	3	13	4	14	1	
J6 (5-6) – Испытание узла A	5	13	18	14	19	1	
J7 (4-6) – Изготовление узла C	9	10	19	10	19	0	*
J8 (6-7) – Сборка изделия	6	19	25	19	25	0	*
J9 (3-4) – Фиктивная работа	0	3	3	10	10	7	

$ES_{ij}$  - наиболее ранний возможный срок начала работы (i, j).

$EF_{ij}$  - наиболее ранний возможный срок окончания работы (i, j)

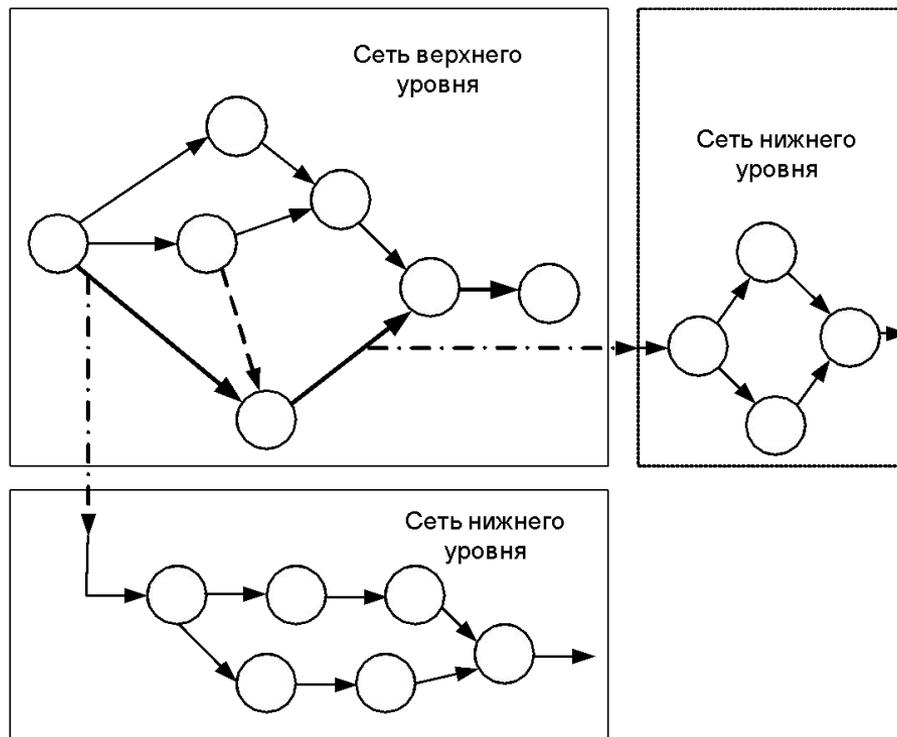
$LS_{ij}$  - наиболее поздний допустимый срок окончания работы (i, j)

$LF_{ij}$  -наиболее поздний допустимый срок начала работы (i, j)

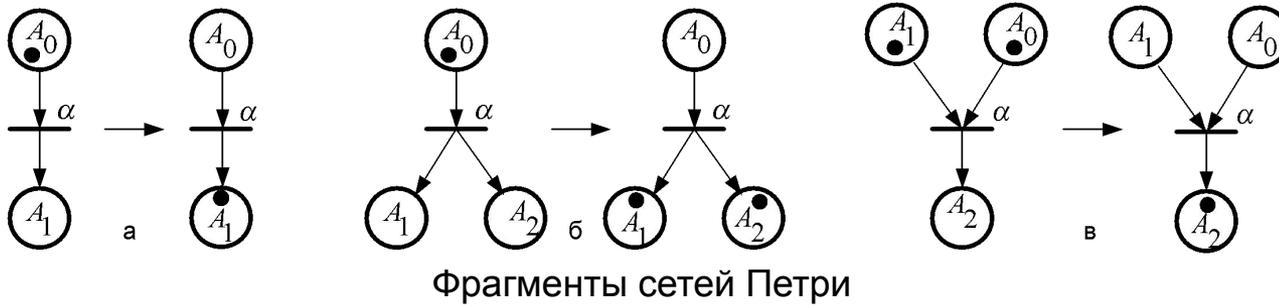
1. Большие проекты удобнее представлять в виде агрегированных моделей, где та или иная отдельная работа может быть на нижнем более детализированном уровне представлена в виде собственной сетевой модели

2. Планирование с помощью сетевых моделей подразумевает незанятость ресурсов (оборудование, персонал) в процессе выполнения плана.

3. В ряде случаев возможно регулирование по времени выполнения, как отдельных работ проекта, так и всей его длительности, если для ряда работ существует некая зависимость между длительностью выполнения этих работ и также объемом используемых ресурсов при указании стоимости увеличения этих объемов на единицу времени выполнения. В этом случае можно решать задачи оптимизации, смысл постановки которых заключается в том, чтобы сократить длительность всего проекта при ограничениях на его общую стоимость.

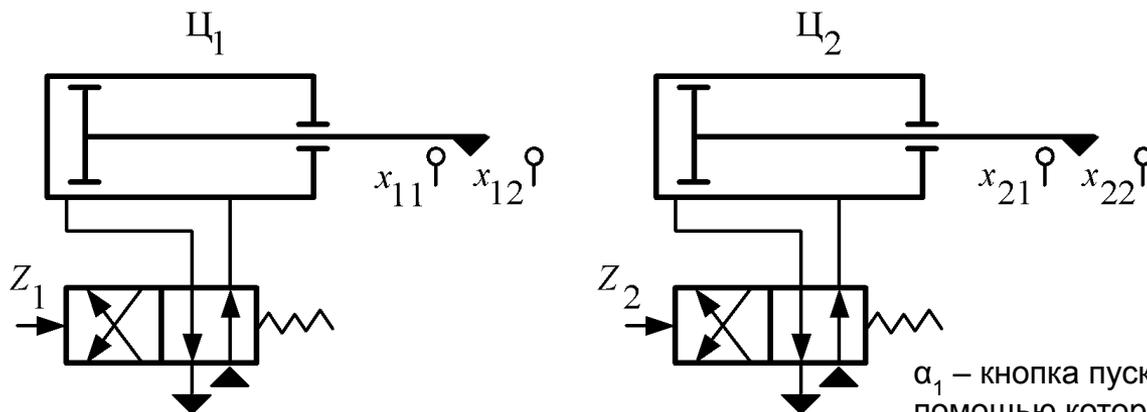


Сеть Петри – это разновидность ориентированных графов, позволяющая описывать последовательные и параллельные процессы, которые протекают одновременно в разных местах, и их динамику. Имеется два типа вершин: позиции и переходы

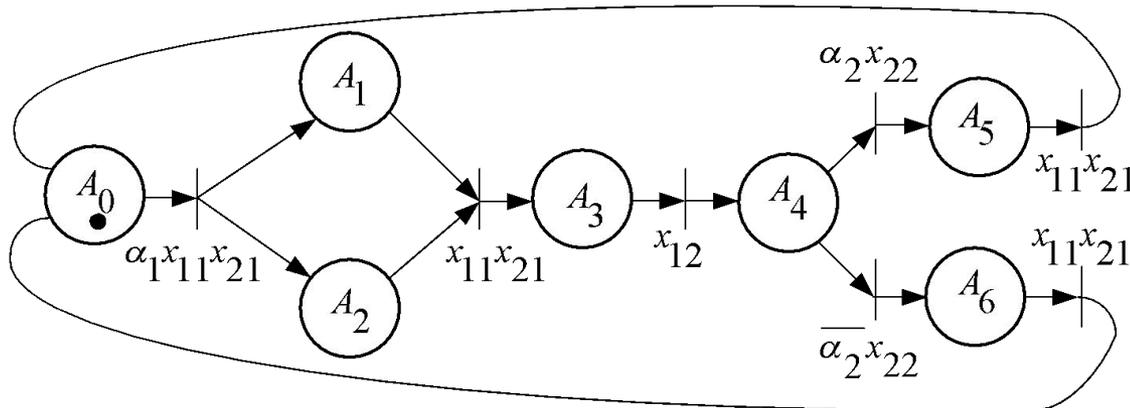


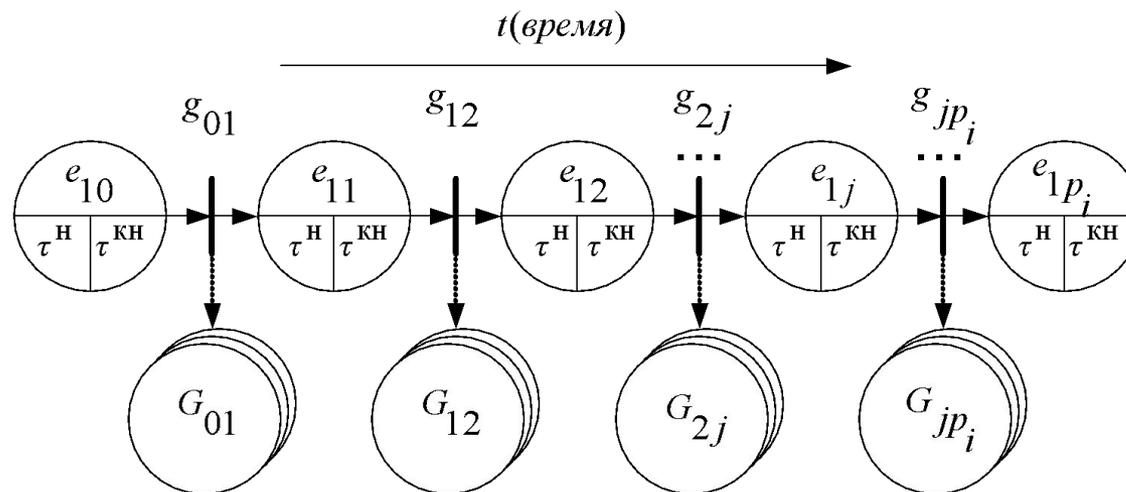
Петри

Имеется два пневмоцилиндра. Оба поршня одновременно должны выдвинуться из исходного положения, а потом задвинуться. Далее должен выдвинуться шток первого цилиндра, и после этого – шток второго цилиндра. Затем должно выполняться два варианта действий в зависимости от положения тумблера. Необходимо наличие кнопки «пуск», которая запускает этот агрегат в работу.



$\alpha_1$  – кнопка пуска,  $\alpha_2$  – тумблер, с помощью которого выбирается нужная часть алгоритма работы;  $A_0$  – оба цилиндра в исходном положении (штоки убраны);  $A_1$  – выдвигается и отводится шток первого цилиндра;  $A_2$  – выдвигается и отводится шток второго цилиндра;  $A_3$  – выдвигается шток первого цилиндра;  $A_4$  – выдвигается шток второго цилиндра;  $A_5$  – отводится шток первого цилиндра, затем – второго цилиндра;  $A_6$  – отводится шток второго цилиндра, затем – первого цилиндра





Сеть Петри технологического процесса

$e_{ij} (j = \overline{1, p_i})$  - единица планирования

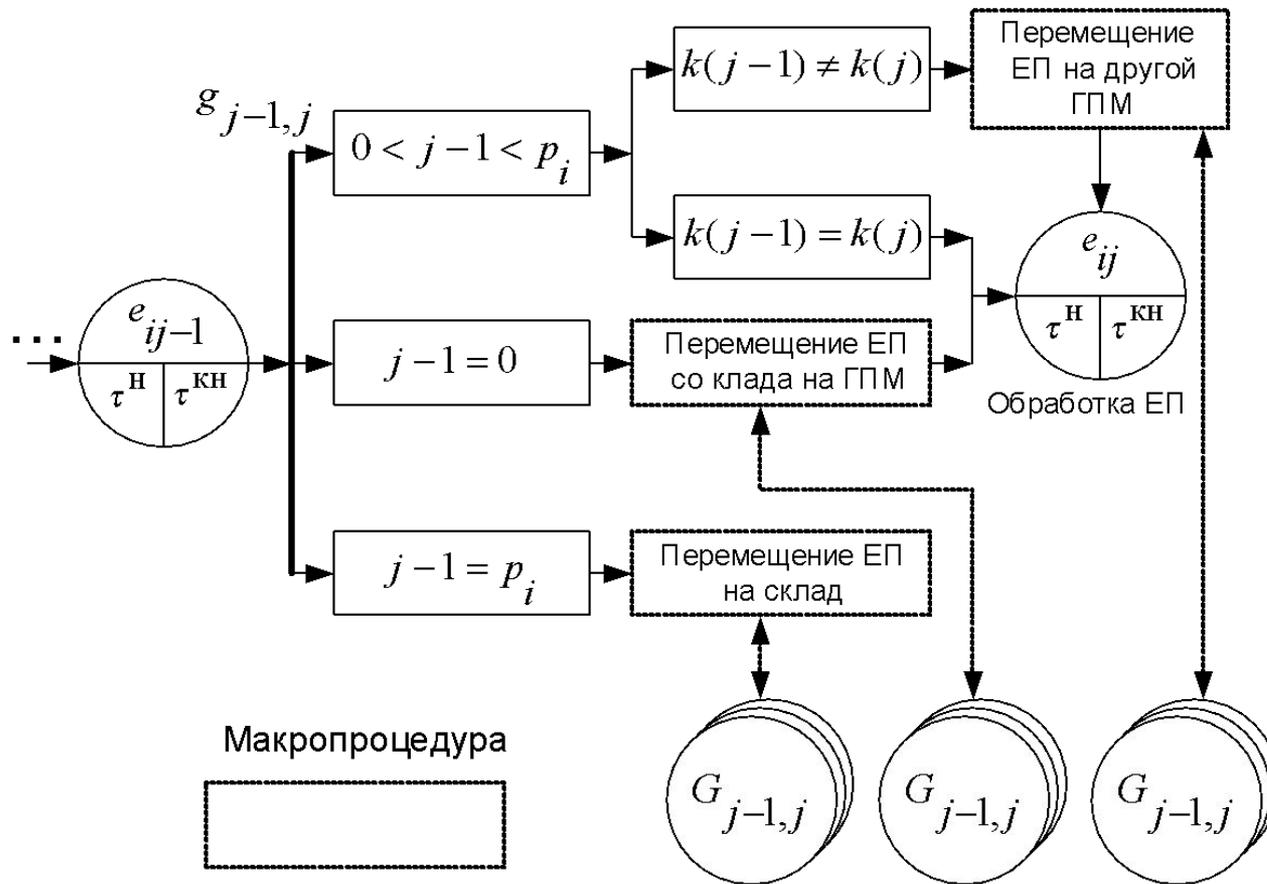
$G_{j,j+1}$  - функциональные подсети Петри

$\tau^H$  - маркер начала

$e_{ij} = \{i, j, \tau^H, \tau^{KH}, k, t\}$

$\tau^{KH}$  - маркер окончания

$g_{j,j+1}$  - переход



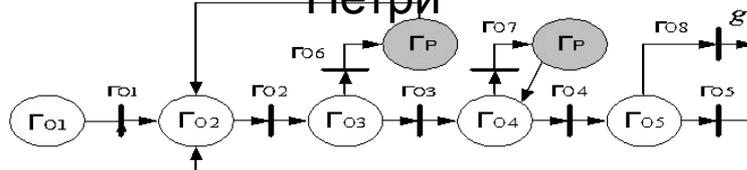
Содержание функции перехода

# Тема 2

Объект	Содержание терминальной процедуры	Идентификатор процедуры и параметры
ГПМ	<простой ГПМ>	$\Gamma_{\Pi} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<обработка партии деталей (ЕП)>	$\Gamma_{\text{O}} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<переналадка ГПМ>	$\Gamma_{\text{H}} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<ремонт ГПМ>	$\Gamma_{\text{p}} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<загрузка партии деталей в ГПМ>	$\Gamma_{\text{з}} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<выгрузка партии деталей из ГПМ>	$\Gamma_{\text{в}} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
ТС	<простой ТС>	$T_{\Pi} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<перемещение ТС между двумя объектами>	$T_{\text{Д}} \{k, k1, k2, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<загрузка ЕП со склада>	$T_{\text{з}} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<выгрузка ЕП на складе>	$T_{\text{в}} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<съем ЕП с ГПМ>	$T_{\text{с}} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<установка ЕП на ГПМ>	$T_{\text{у}} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<определение маршрута движения ТС>	$T_{\text{м}} \{k, k1, k2, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<ремонт ТС>	$T_{\text{р}} \{k, i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
СС	<простой СС>	$C_{\text{п}} \{\tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<выгрузка ЕП из ячейки склада>	$C_{\text{в}}^{\text{п}} \{i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<загрузка ЕП в ячейку склада>	$C_{\text{з}} \{i, j, \tau^H, \tau^{KH}, t\}$
	<ремонт>	$C_{\text{р}} \{\tau^H, \tau^{KH}, t\}$

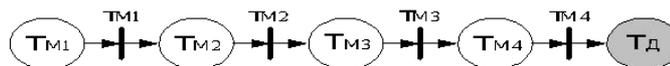
№	Макропроцедура	Номинальное содержание макропроцедуры	Структура макропроцедуры
1	Перемещение ЕП со склада на ГПМ	<p>&lt;определение маршрута движения ТС&gt;                      &lt;перемещение ТС&gt;                      &lt;выгрузка ЕП из ячейки склада&gt;                      &lt;загрузка ЕП со склада&gt;                      &lt;определение маршрута движения ТС&gt;                      &lt;перемещение ТС&gt;                      &lt;установка ЕП на ГПМ&gt;                      &lt;загрузка партии деталей в ГПМ&gt;</p>	$\{T_M \rightarrow T_D \rightarrow C_B \rightarrow$ $\rightarrow T_3 \rightarrow T_M \rightarrow T_D \rightarrow$ $\rightarrow T_y \rightarrow \Gamma_3\}$
2	Перемещение ЕП на другой ГПМ	<p>&lt;определение маршрута движения ТС&gt;                      &lt;перемещение ТС&gt;                      &lt;выгрузка партии деталей из ГПМ&gt;                      &lt;съем ЕП с ГПМ&gt;                      &lt;определение маршрута движения ТС&gt;                      &lt;перемещение ТС&gt;                      &lt;установка ЕП на ГПМ&gt;                      &lt;загрузка партии деталей в ГПМ&gt;</p>	$\{T_M \rightarrow T_D \rightarrow \Gamma_B \rightarrow$ $\rightarrow T_C \rightarrow T_M \rightarrow T_D \rightarrow$ $\rightarrow T_y \rightarrow \Gamma_3\}$
3	Перемещение ЕП на склад	<p>&lt;определение маршрута движения ТС&gt;                      &lt;перемещение ТС&gt;                      &lt;выгрузка партии деталей из ГПМ&gt;                      &lt;съем ЕП с ГПМ&gt;                      &lt;определение маршрута движения ТС&gt;                      &lt;перемещение ТС&gt;                      &lt;выгрузка ЕП на складе&gt;                      &lt;загрузка ЕП в ячейку склада&gt;</p>	$\{T_M \rightarrow T_D \rightarrow \Gamma_B \rightarrow$ $\rightarrow T_C \rightarrow T_M \rightarrow T_D \rightarrow$ $\rightarrow T_B \rightarrow C_3\}$

## Подсети Петри



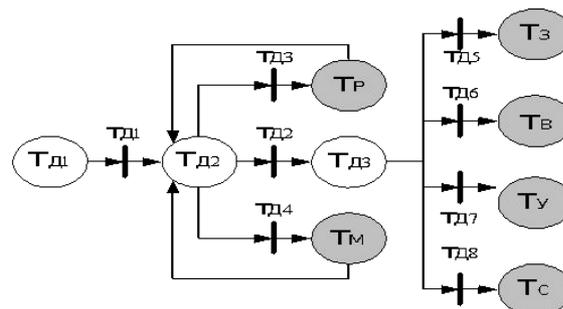
а) Подсеть Го

Г<sub>01</sub> – переналадка ГПМ; Г<sub>02</sub> – обработка одной детали;  
 Г<sub>03</sub> – контроль детали; Г<sub>04</sub> – контроль работоспособности ГПМ;  
 Г<sub>05</sub> – контроль количества обработанных деталей;  
 г<sub>01</sub> – конец переналадки ГПМ; г<sub>02</sub> – деталь обработана;  
 г<sub>03</sub> – деталь годная; г<sub>04</sub> – ГПМ исправен; г<sub>05</sub> – партия незакончена;  
 г<sub>06</sub> – деталь негодная; г<sub>07</sub> – ГПМ неисправен;  
 г<sub>08</sub> – партия закончена;  $g$  – функция перехода.



б) Подсеть ТМ

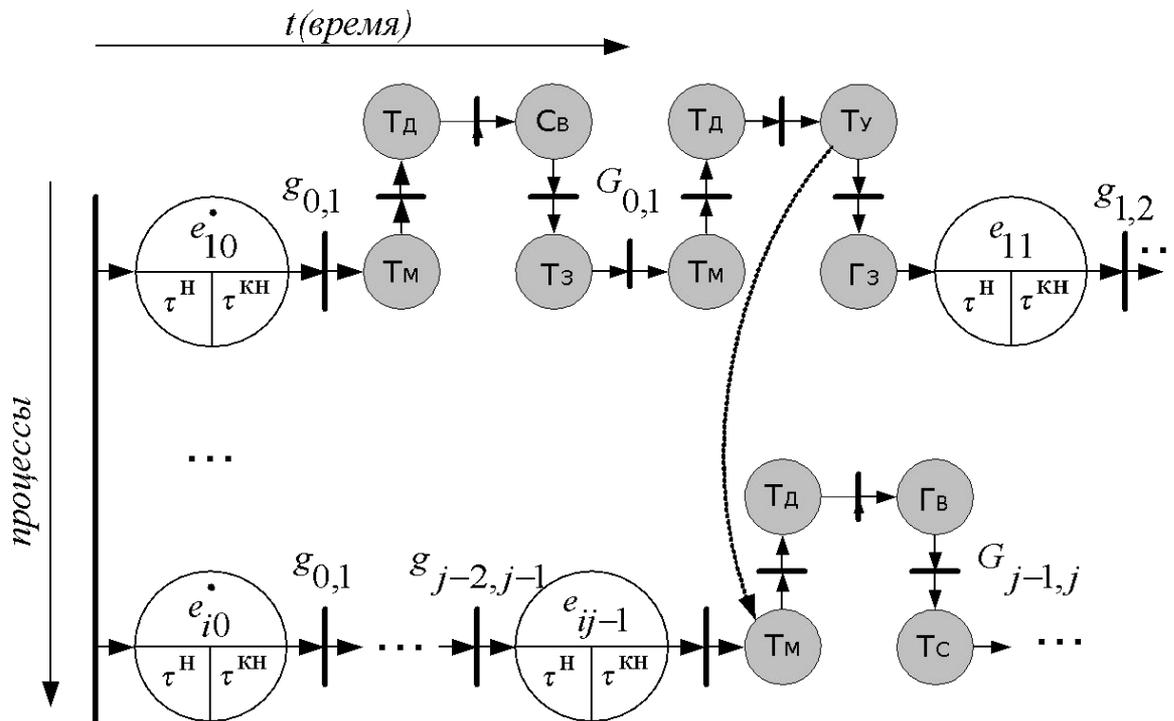
ТМ<sub>1</sub> – получение списка маршрутов; ТМ<sub>2</sub> – составление маршрута;  
 ТМ<sub>3</sub> – внесение маршрута в список; ТМ<sub>4</sub> – передача маршрута в СУ;  
 ТД – маршрут передан в СУ.

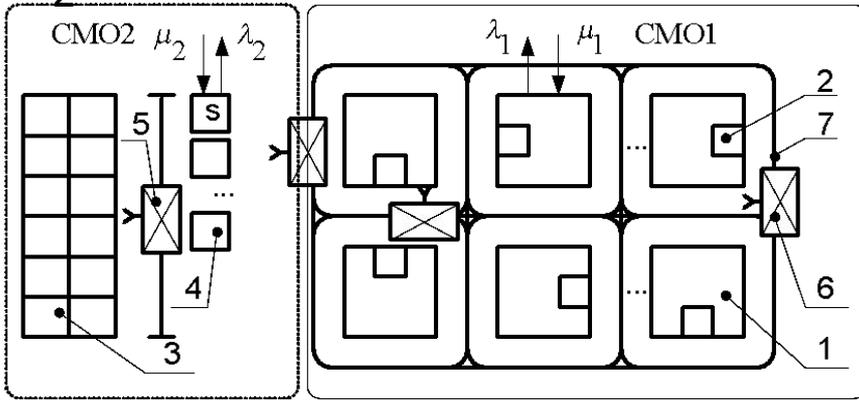


в) Подсеть ТД:

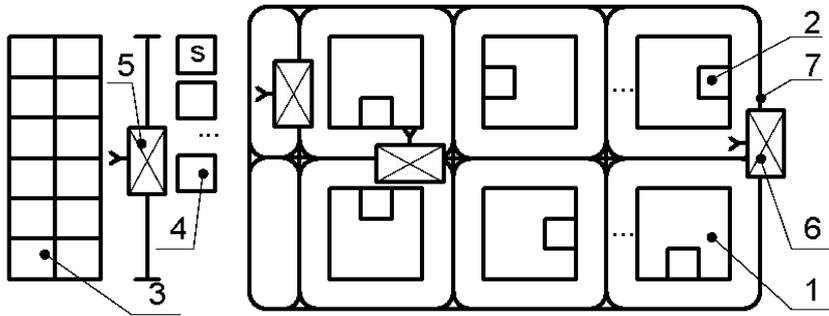
ТД<sub>1</sub> – получение адреса и маршрута; ТД<sub>2</sub> – движение ТС;  
 ТД<sub>3</sub> – позиционирование ТС; тд<sub>1</sub> – адрес и маршрут получены;  
 тд<sub>2</sub> – адрес достигнут; тд<sub>3</sub> – поломка ТС; тд<sub>4</sub> – препятствие;  
 тд<sub>5</sub> – загрузка ЕП со склада; тд<sub>6</sub> – выгрузка ЕП на склада;  
 тд<sub>7</sub> – установка ЕП на ГПМ; тд<sub>8</sub> – съем ЕП с ГПМ;

## Синтез сети Петри в имитационной модели

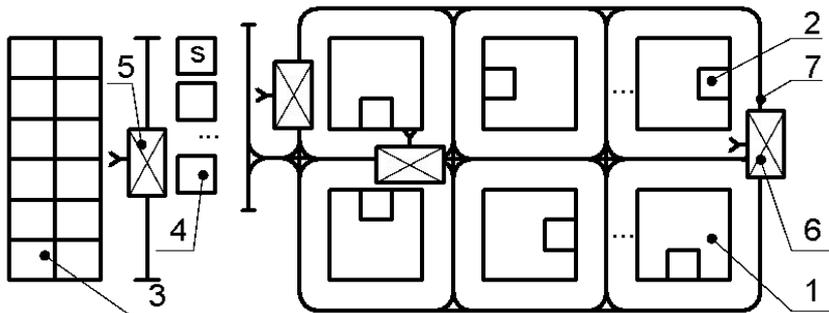




а) Схема заявок в ГПС



б) Случай с  $\lambda_1 = \lambda_2$



в) Случай с  $\lambda_1 > \lambda_2$

$$\lambda_1 = \frac{\sum_{k=1}^n m_k p_k}{\left( \sum_{i=1} \sum_{j=1} (t_{Oe_{ijk}} \cdot a_{ij} + t_{ПЕРe_{ijk}}) \right) / m_k} \cdot \frac{1}{(1 - p_{nk}^*)}$$

$$\mu_1 = \frac{1}{t_{\Sigma TP re_{ijk}}} (1 - p_r^*)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{t_{\Sigma TP re_{ijk}}} (1 - p_r^*)$$

$$\mu_2 = \frac{1}{t_{\Sigma TC}} (1 - p_s^*)$$

приведенные интенсивности потоков заявок для процедур обслуживания ГПС транспортными средствами и складом транспортных средств:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}; \quad \rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2}$$

основное условие:

$$0 \leq L_{Oч1} < 1; \quad 0 \leq L_{Oч2} < 1$$

условия существования финальных вероятностей:  $\frac{\rho_i}{l} < 1; \quad i \in \{1,2\}; l \in \{r,s\}$

СМО в нашем случае должна удовлетворять следующему условию:

$$L_{OЧ}_i = \frac{\rho_i^{l+1} p_0}{l \cdot l!(1 - \rho_i/l)^2} < 1, \quad i \in \{1,2\}; \quad l \in \{r,s\}$$

Окончательно:

$$l \cdot l!(1 - \frac{\rho_i}{l})^2 \left( \sum_{k=0}^l \frac{\rho_i^k}{k!} + \frac{\rho_i^{l+1}}{l!(l - \rho_i)} \right) - \rho_i^{l+1} > 0$$

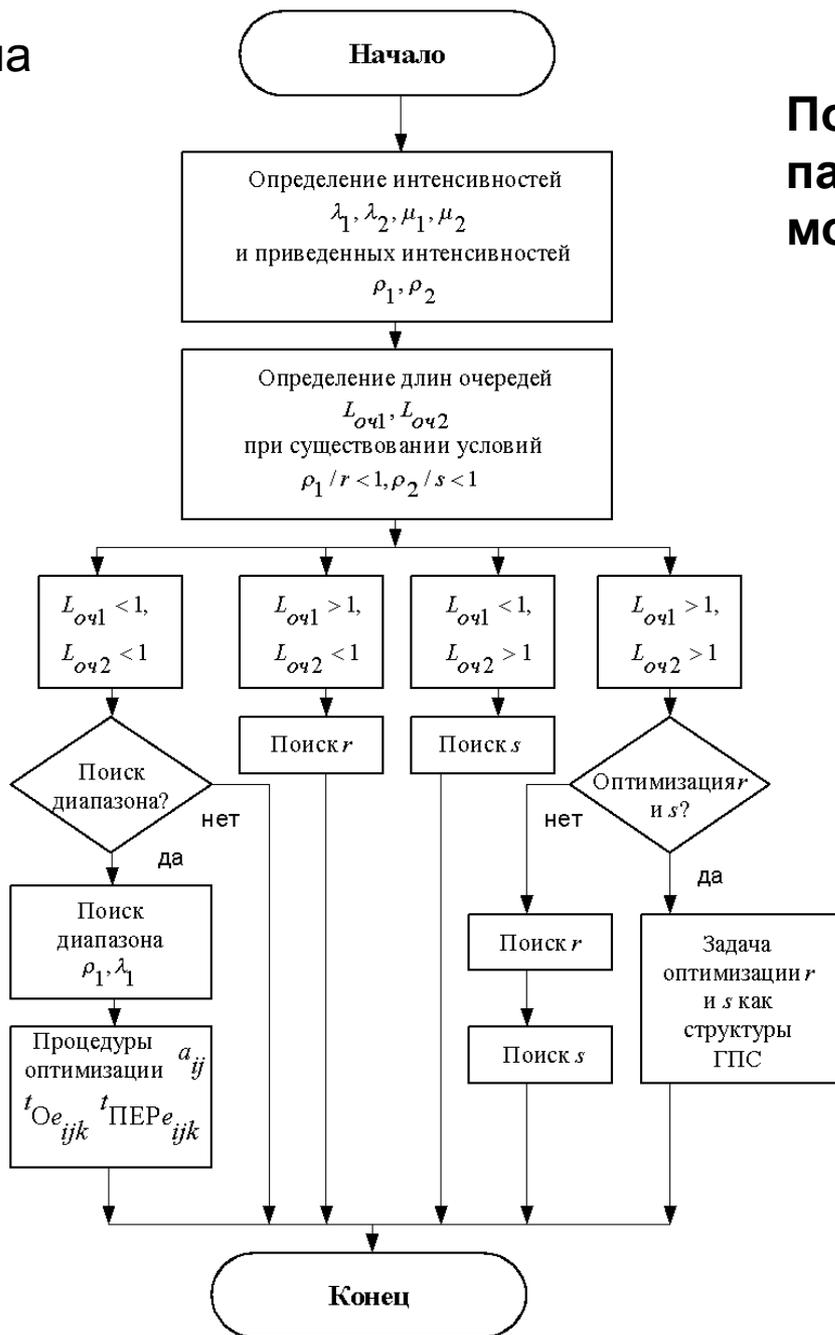
$$i \in \{1,2\}; l \in \{r,s\}.$$

выполнение системы условий:

$$\begin{cases} l \cdot l!(1 - \frac{\rho_i}{l})^2 \left( \sum_{k=0}^l \frac{\rho_i^k}{k!} + \frac{\rho_i^{l+1}}{l!(l - \rho_i)} \right) - \rho_i^{l+1} > 0; \\ \frac{\rho_i}{l} < 1; \quad i \in \{1,2\}; l \in \{r,s\} \end{cases}$$

может быть найдено допустимое множество решений. Иными словами, план-график работы ГПС в большинстве случаев может быть выполнен.

# Поиск оптимальных параметров расписаний на модели СМО

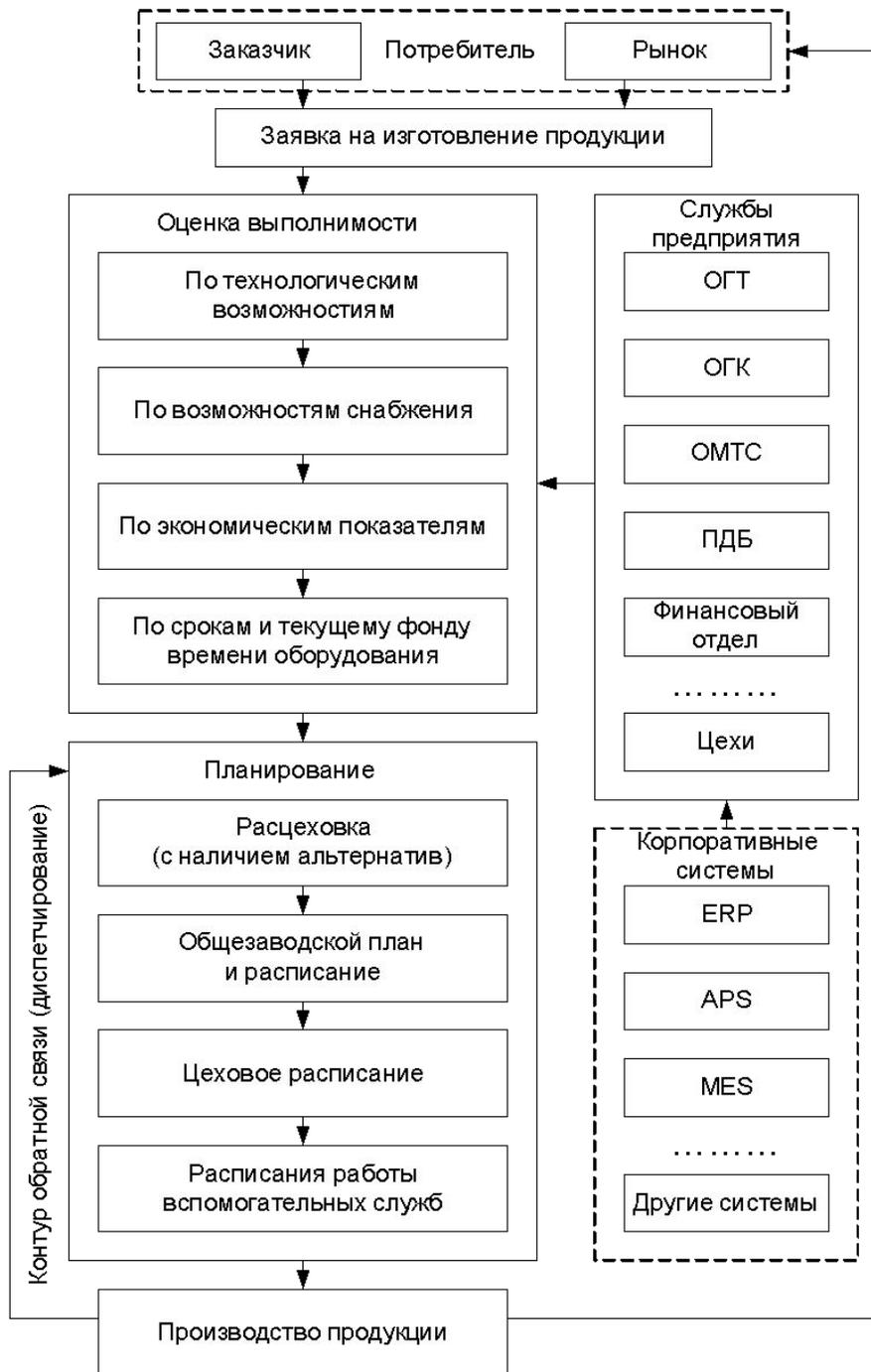


От автоматизированных систем управления предприятием к корпоративным информационным системам



Типовая структура АСУП конца 70-г.г.

**Порядок планирования работ на предприятии**



$$k_a = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} e_{ijk}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} e_{ij}}$$

*Поясняющий пример:*

*Парк оборудования:*  $N\{N_1, N_2\}$

*Номенклатура по операциям (множество M):*  $\{e_{11}, e_{12}, e_{21}, e_{22}\}$

*Все варианты выполнения:*  $\{e_{111}, e_{122}, e_{211}, e_{212}, e_{221}, e_{222}\}$

*тогда коэффициент альтернативности всего нашего множества M*

$$k_a = 6/4 = 3/2 = 1,5$$

ERP (Enterprise resource planning)

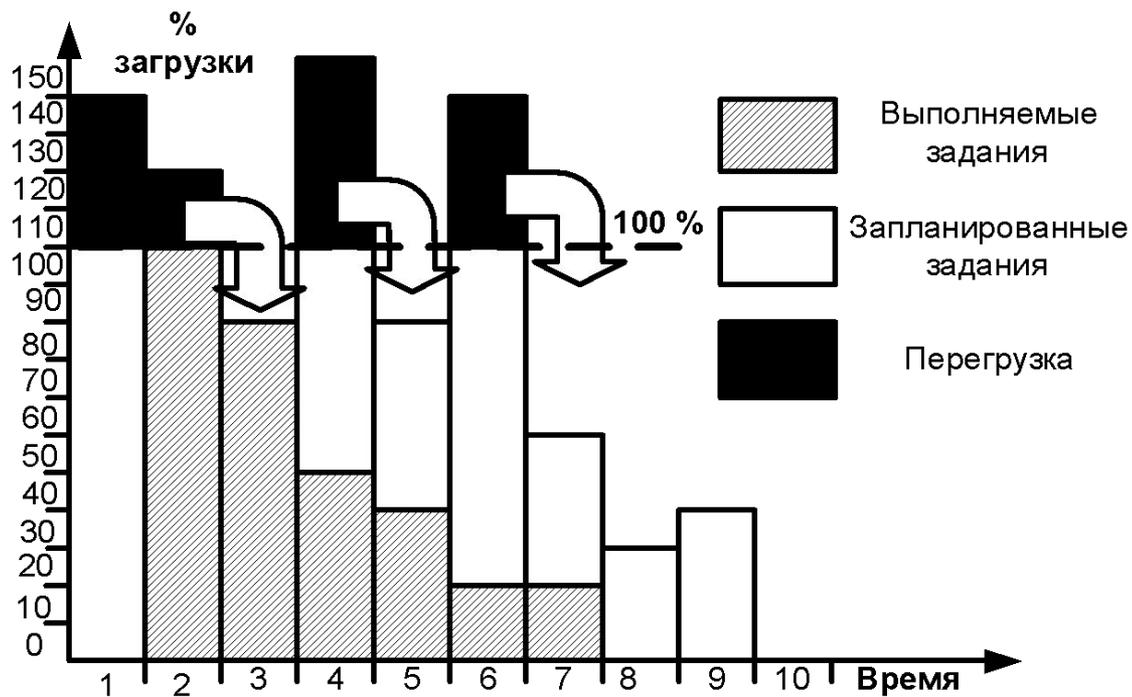
Хронология развития: MRP → MRP-II → ERP

Функции MRP II

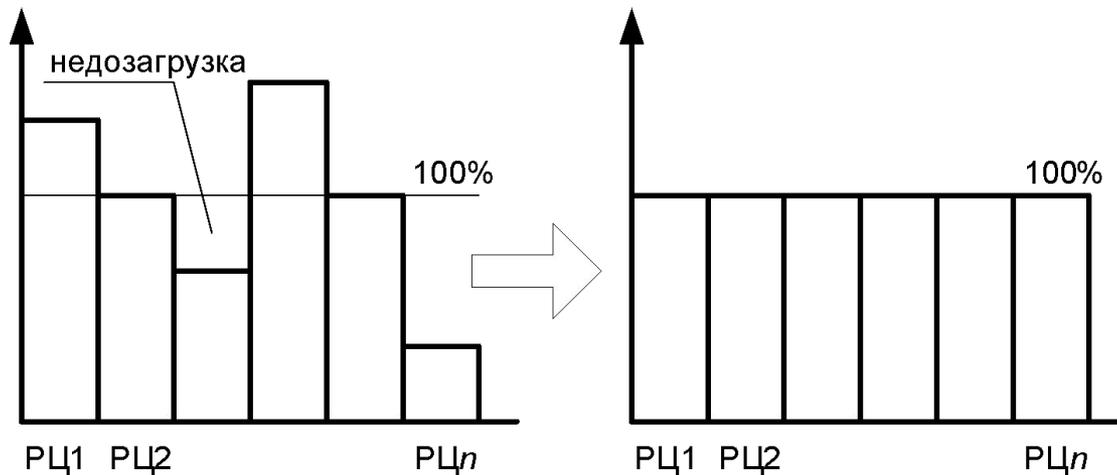
1. Планирование продаж и операций (Sales & Operations Planning).
2. Управление спросом (Demand Management).
3. Главный календарный план производства (Master Production Scledule).
4. Планирование потребности в материалах (Material Requirements Planning).
5. Подсистема спецификаций (Bill of Material Subsystem).
6. Подсистема операций с запасами (Inventory Transaction Subsystem).
7. Подсистема запланированных поступлений по открытым заказам (Scheduled Receipts Subsystem).
8. Оперативное управление производством (Shop Floor Control or Production Activity Control).
9. Планирование потребности в мощностях (Capacity Requirements Planning).
10. Управление входным/выходным материальным потоком (Inpup/Output Control).
11. Управление снабжением (Purchasing).
12. Планирование ресурсов распределения (Distriblltion Resource Planning).
13. Инструментальное обеспечение (Tooling).
14. Интерфейс с финансовым планированием (Financial Planning Interfaces).
15. Моделирование (Simulation).
16. Оценка деятельности (Performance Measurement).

Перечень функций типовой ERP-системы

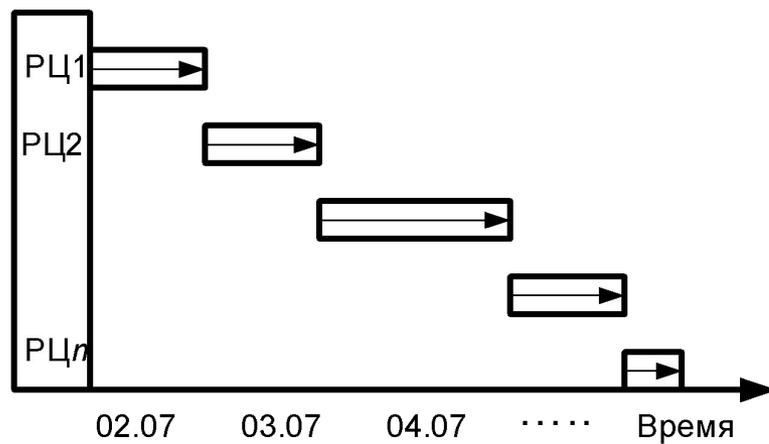
№	Функция системы
1	Планирование продаж и производства
2	Моделирование деятельности предприятия
3	Управление спросом
4	Составление плана производства
5	Логистическая поддержка продукции
6	Планирование потребностей в сырье и материалах
7	Управление материальными потоками
8	Управление персоналом
9	Управление документооборотом
10	Спецификации продукции
11	Складская подсистема
12	Система конструирования и проектирования
13	Технологическое проектирование
14	Оперативно-календарное планирование
15	Управление производством на цеховом уровне
16	Диспетчирование производства
17	Планирование производственных мощностей
18	Учет персональных затрат и времени
19	Контроль качества продукции
20	Отгрузка готовой продукции
21	Техническое обслуживание и ремонт оборудования
22	Анализ незавершенного производства
23	Материально-техническое снабжение
24	Планирование запасов сбытовой сети
25	Планирование и управление инструментальными средствами
26	Финансовое планирование
27	Послепродажное обслуживание клиентов
28	Оценка результатов деятельности (функциональный аудит деятельности)



Принцип планирования загрузки на РЦ на основе MRP II



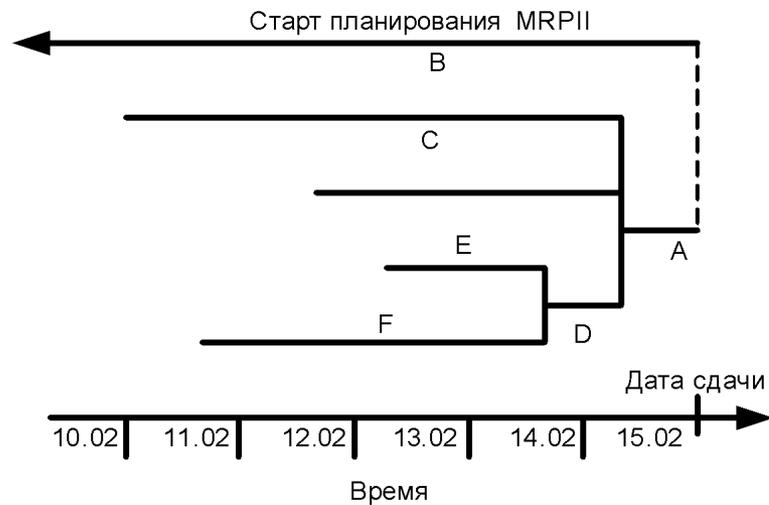
Принцип выравнивания загрузки РЦ



Определение длительности технологического процесса

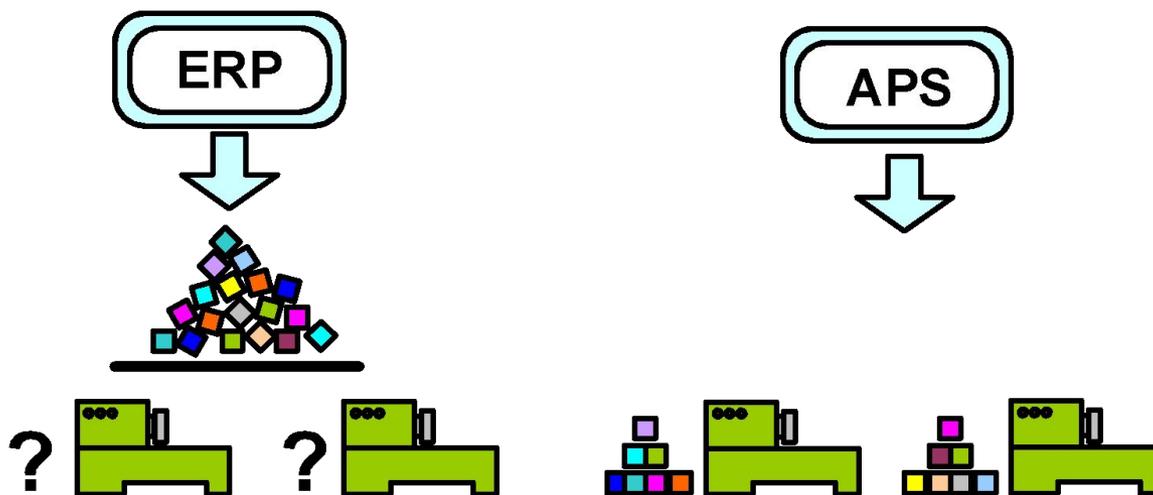
	04.08	05.08	06.08	07.08	08.08	09.08	10.08	11.08
РЦ1	58	75	130	0	80			60
РЦ2	0	24	55	10	0			26
	50	76	0	35	0			0
				.....				
РЦn								

Временная диаграмма загрузки оборудования

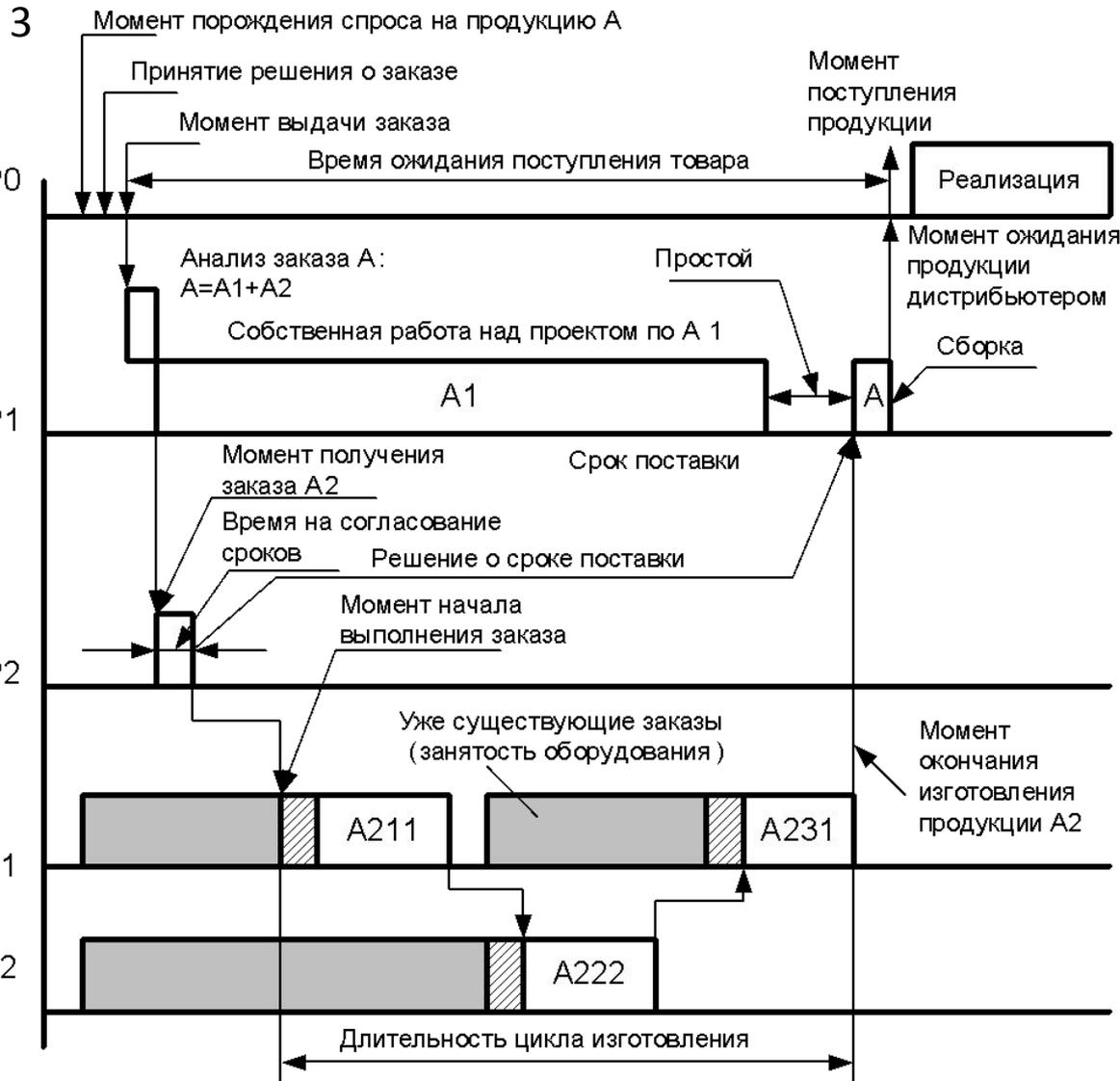


Планирование в MRP II

APS (Advanced Planning & Scheduling Systems). Целью данных систем является выполнение укрупненных директив со стороны ERP-систем на цеховом уровне для предприятия в целом, т.е. должно быть составлено детализированное расписание работы всего парка оборудования на всем портфеле заказов на длительный период, например, на два-три месяца.

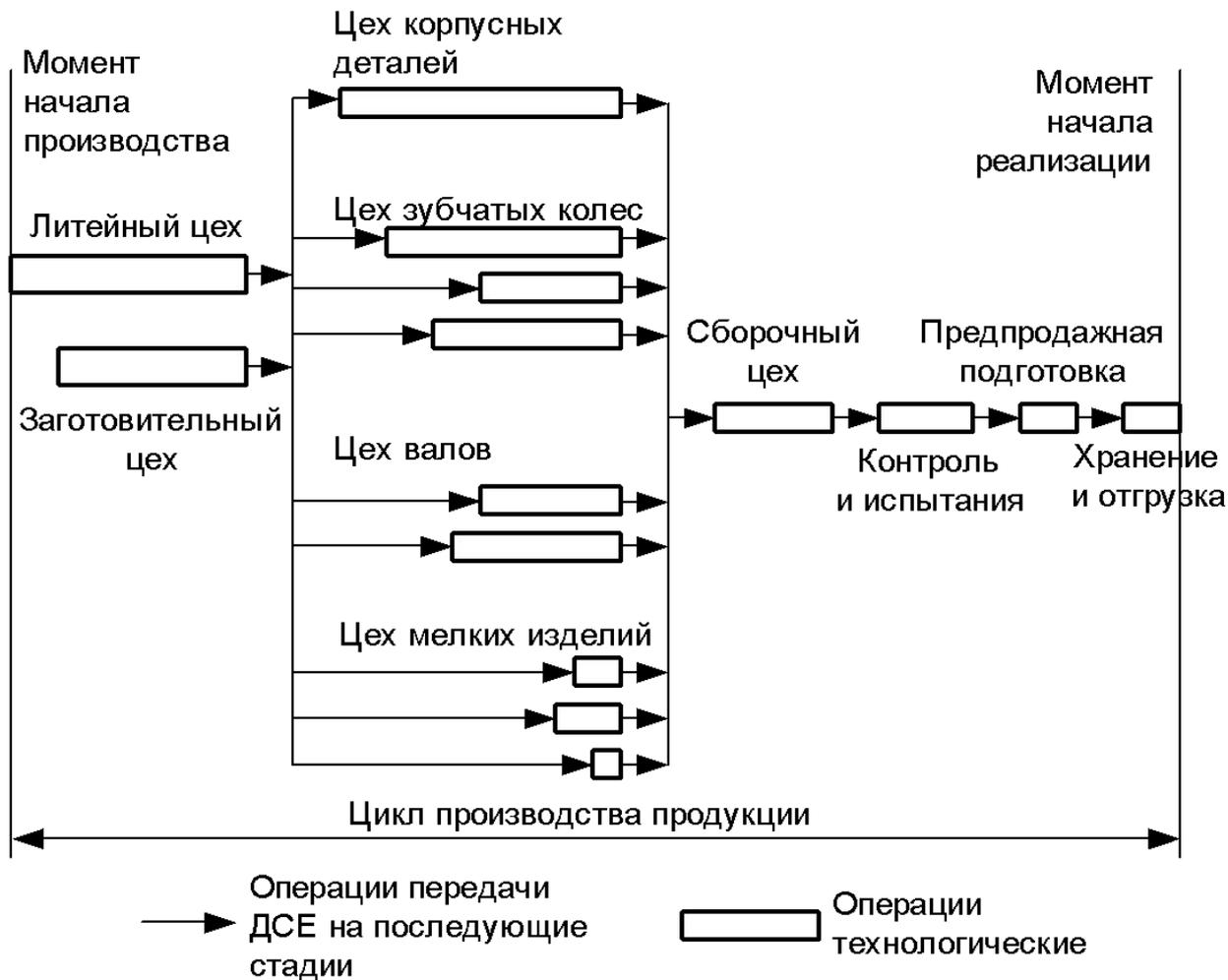


Основной целью для систем планирования нового поколения – APS является решение задач автоматизации управления цепочками поставок (SCM – Supply Chain Management)

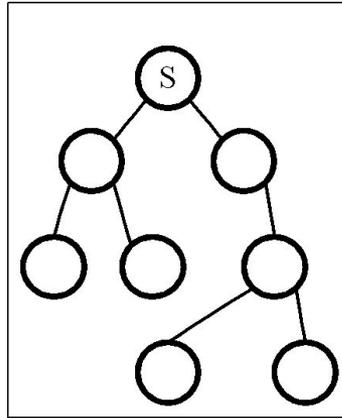
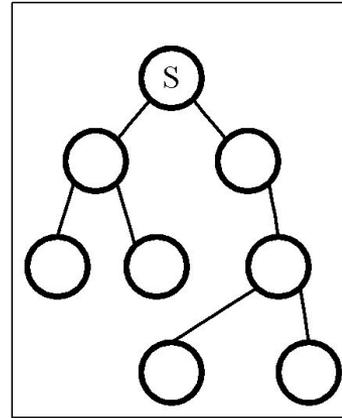
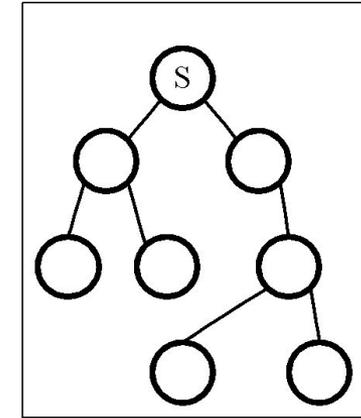


Механизм SCM

Пример: некое предприятие  $P_0$ , представляющее собой торговую организацию, на основе спроса со стороны потребителей на продукцию A, решило заказать ее выпуск в определенном количестве производственному предприятию  $P_1$ . После получения заказа на продукцию вида A, предприятие  $P_1$ , после анализа выяснило, что продукция A с точки зрения выполнения может быть представлена как  $A=A1+A2$ , где A1 – часть объема работ, которую может выполнить непосредственно само предприятие  $P_1$ , а A2 – часть объема работ, которую лучше всего выполнит предприятие  $P_2$ , имеющее определенный опыт именно в такого рода работах.



Общая структура цикла изготовления продукции

Цех<sub>1</sub>{ $M_1, N_1, F_1, B_1$ }Цех<sub>2</sub>{ $M_2, N_2, F_2, B_2$ }Цех<sub>g</sub>{ $M_g, N_g, F_g, B_g$ }

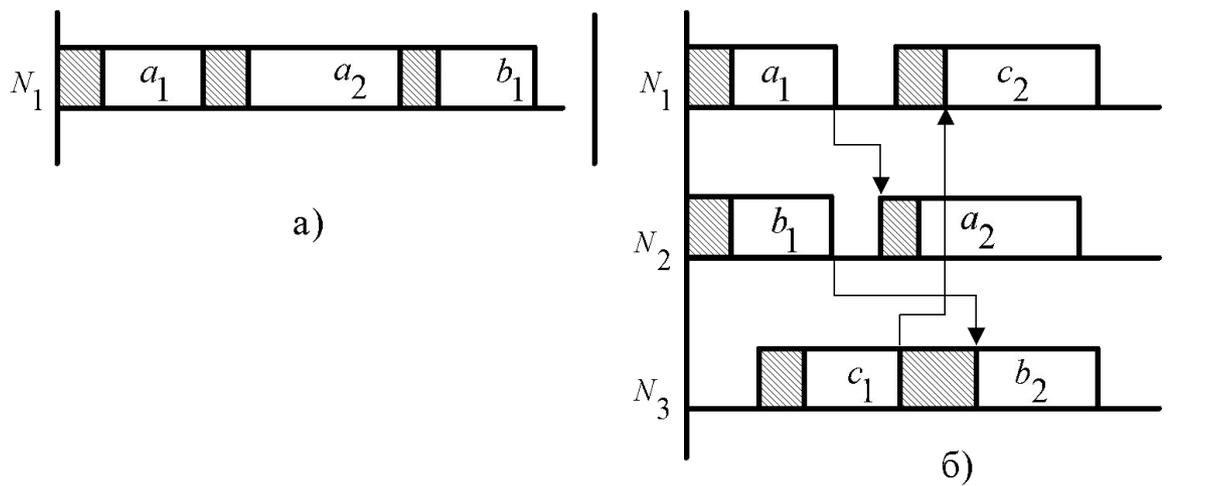
Общие обслуживающие устройства можно разделить на три типа – *локальные обслуживающие устройства* (ЛОУ), *выделенные обслуживающие устройства* (ВОУ) и *совместные обслуживающие устройства* (СОУ).

ЛОУ – это устройства, принадлежащие только конкретному цеху и они не обслуживают заявки, принадлежащие другим производственным структурам.

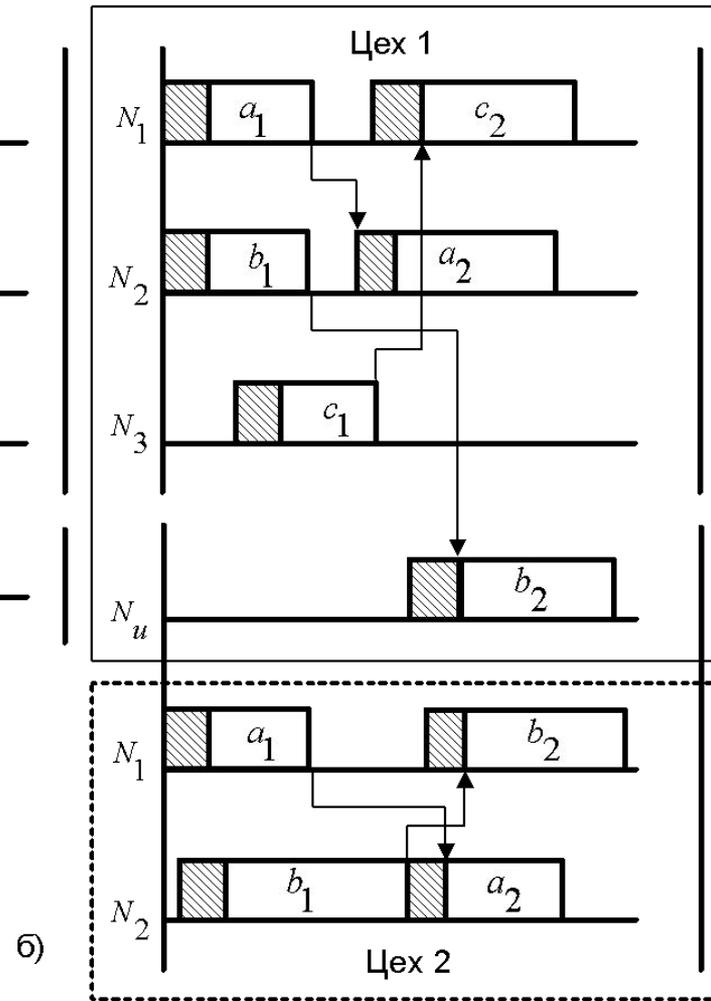
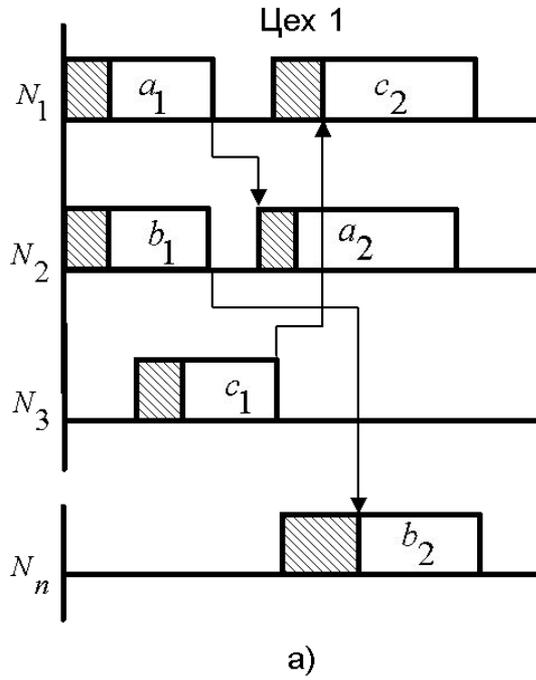
ВОУ – это устройства, которые не принадлежат конкретно данному цеху, но придают ему на тот или иной период планирования. Данные устройства обслуживают заявки только того цеха, которому они приданы на момент выполнения задания на горизонте планирования.

СОУ – это устройства, которые обслуживают заявки с различных цехов на расчетном плане. В качестве СОУ могут служить:

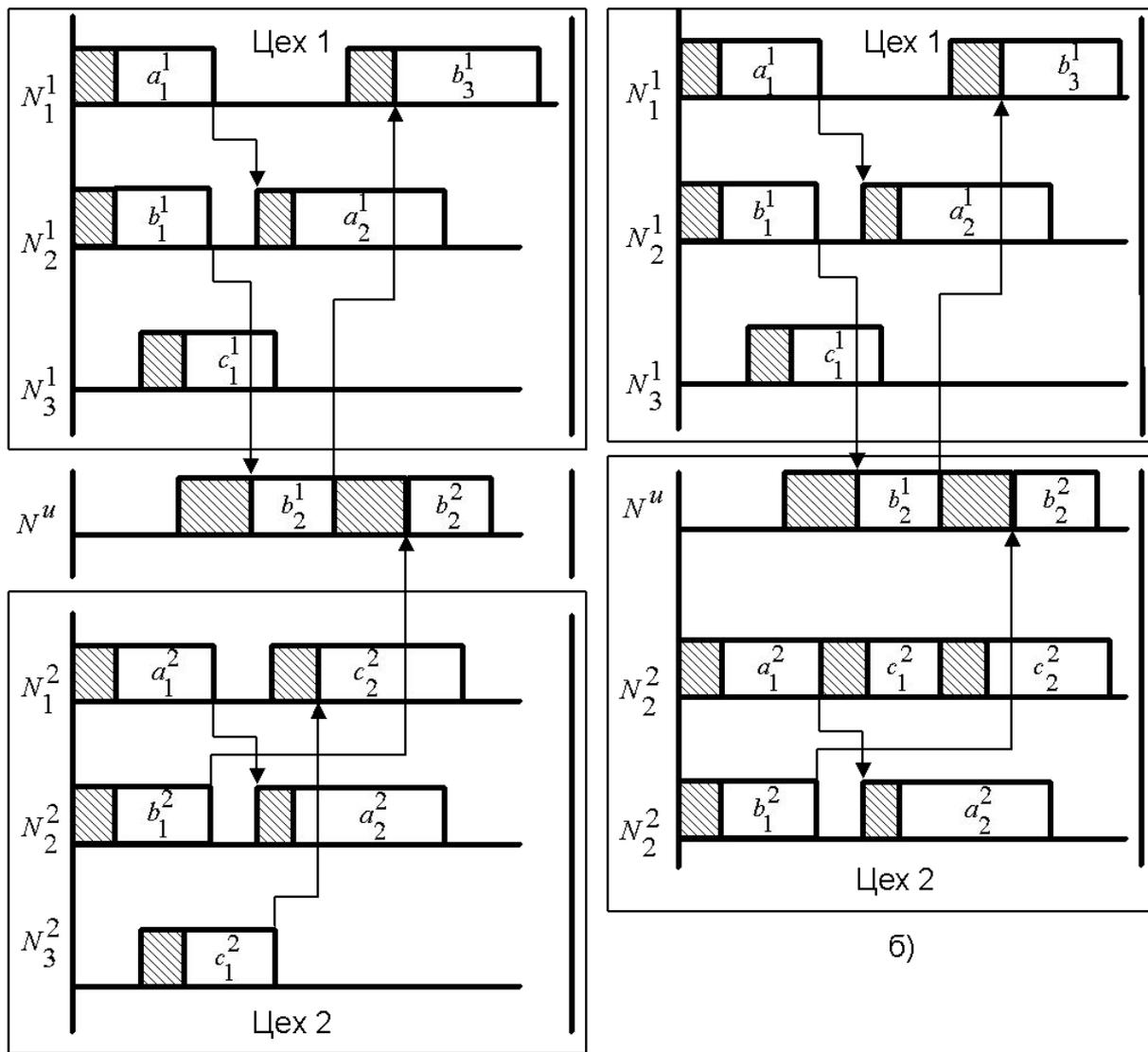
- уникальное и дорогостоящее оборудование – контрольно-измерительные машины (КИМ), станции мойки, сушки и снятия заусенцев), которое не может быть придано какому-либо цеху ввиду малого коэффициента загрузки СОУ данным цехом или высокой стоимости СОУ;
  - технологическое и вспомогательное оборудование (транспортные средства и пр.), которые имеют низкий коэффициент загрузки;
  - участки и комплексы оборудования, через которые проходят детали в процессе обработки – цеха и участки термообработки, гальванообработки, сварки и т.п.;
- устройства совместного использования – общие склады деталей, заготовок, оснастки и инструмента.



Расписания для моделей с ЛОУ



Расписания с ВОУ



а)  
 Диаграммы расписаний цехов с совместными ОУ

б)

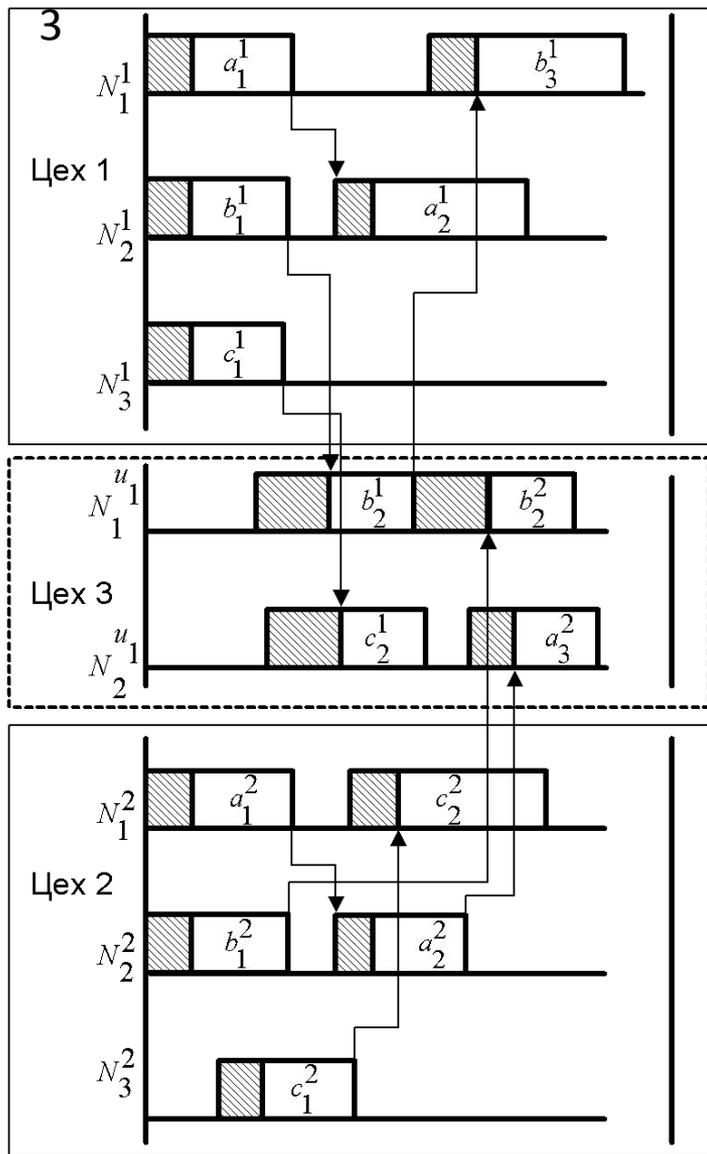
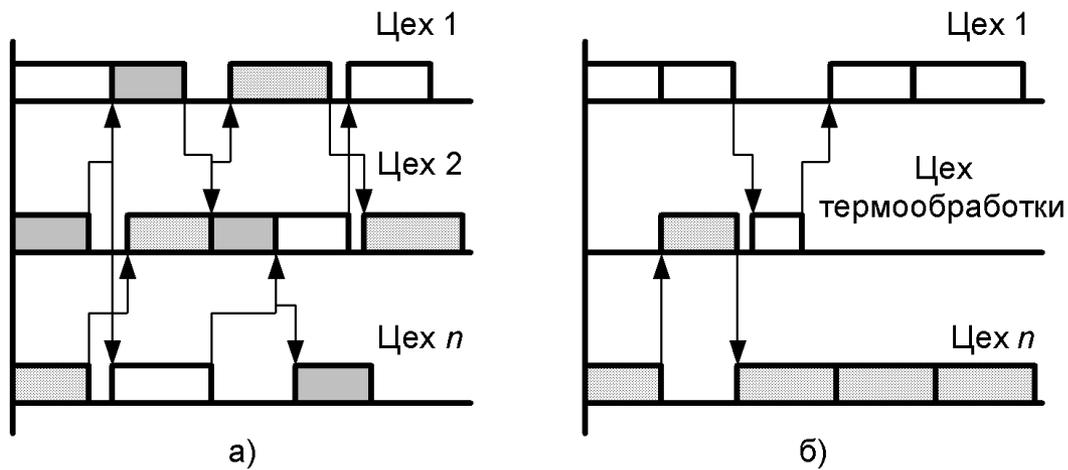


Диаграмма расписания цехов с несколькими совместными ОУ



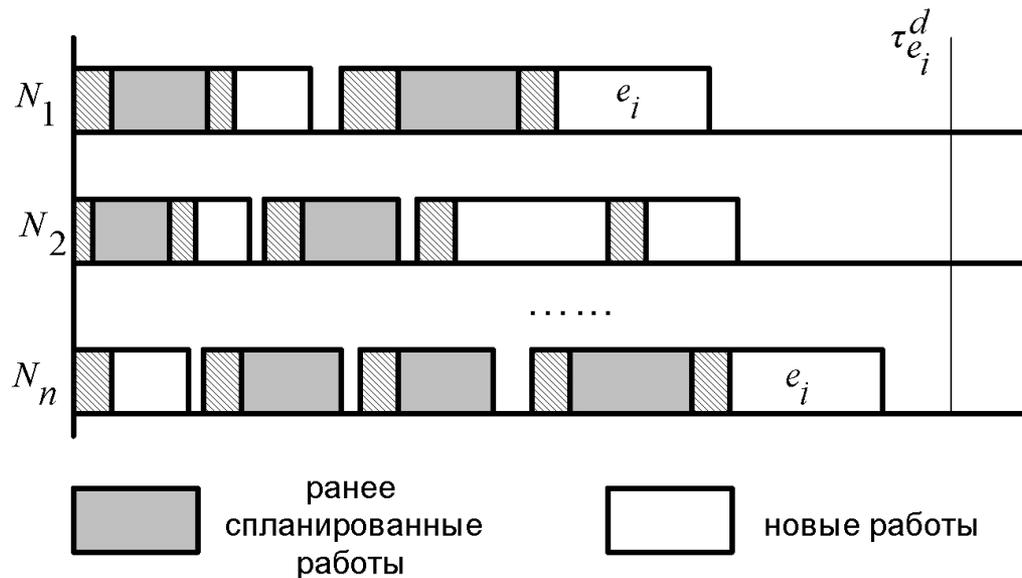
Межцеховые расписания

3

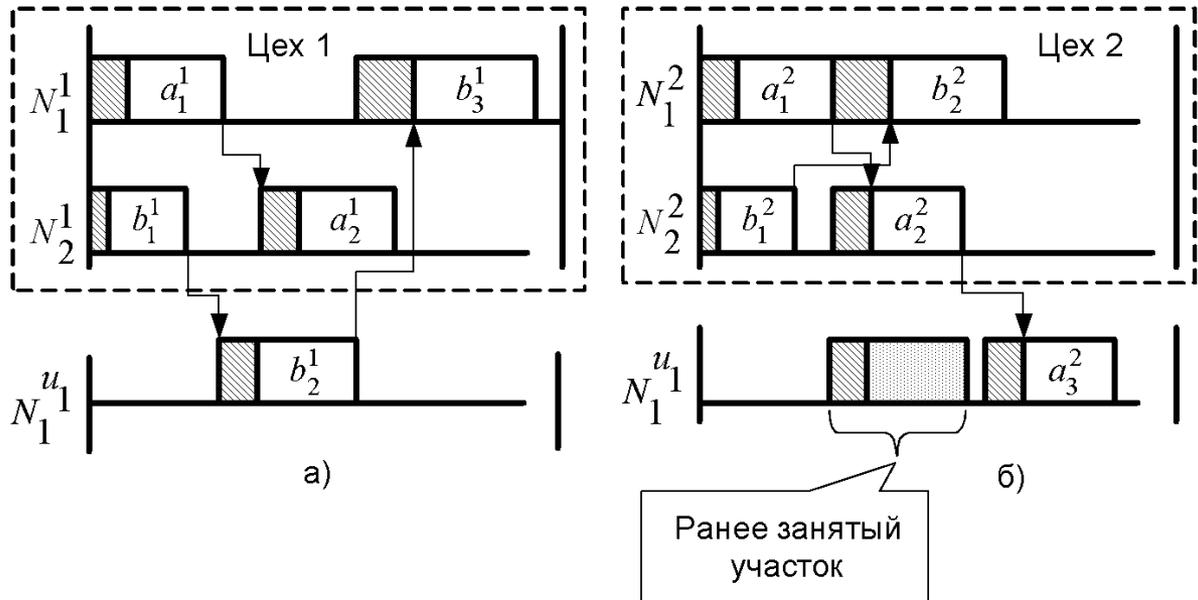
Алгоритм построения расписаний в системах APS, в силу большого количества назначаемых операций и ОУ, достаточно прост

APS-системы имеют на своем вооружении крайне ограниченный состав критериев планирования

Длительность горизонта планирования в APS-системах – это всегда разница во времени между моментами времени выдачи наиболее дальних заказов из всего портфеля заказов предприятия и текущей датой



Принцип назначения новых работ



Остаточный метод построения расписания

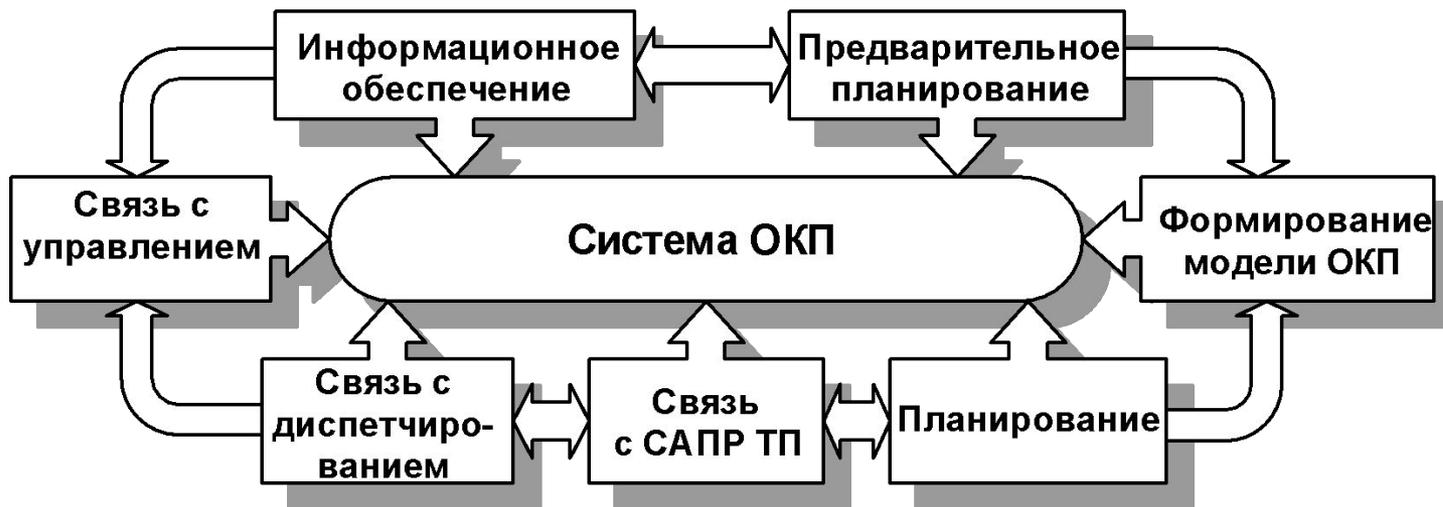
3

№	Данные		Служба
1	По технологии изготовления:		ОГТ
	1.1	Технологические маршрутные и операционные процессы всех ЕП с нумерованным перечнем операций	ОГТ
	1.2	Данные по узлам: шифр и наименование готового изделия, шифр узла (для узла), имя узла, шифр родительского узла (все вхождения по иерархии на основе конструкторского дерева), эскиз или чертеж узла (если есть).	ОГТ
	1.3	Перечень узловых операций: номера операций, наименование (сборка, контроль и т. п.), коды операций, время сборки узла (или – контроля и т.п.), время переналадки рабочего центра на операции, инвентарный номер РЦ, наименование РЦ	ОГТ
	1.4	Данные по деталям: шифр детали, имя детали, шифр родительского узла (ближайшее вхождение), габариты детали/заготовки, чертеж или эскиз детали	ОГТ
	1.5	Операции над деталью (по каждой операции): перечень операций, номера операций, наименование операции, коды операций, время обработки на операции, время переналадки РЦ на операции, инвентарный номер РЦ для операции, список наименований РЦ (с инвентарными номерами) на операции, наличие обработки в сборе или в группе, шифры деталей для случая обработки в сборе или в группе, номера операций деталей для случая обработки в сборе или группе	ОГТ
	1.6	Величина партии запуска и величины передаточных партий	ПДБ, Цехи
2	По оборудованию		
	2.1	Перечень оборудования с указанием номера цеха и участка	ОГМ
	2.2	Технологические характеристики оборудования	ОГМ
	2.3	Технические характеристики оборудования	ОГМ
	2.4	Длительность транспортных операций между РЦ	ОГТ
	2.5	Допустимый график работы оборудования с привязкой к календарю	Цехи, ПДБ
3	По персоналу		
	3.1	Список персонала с указанием профессий, квалификаций и привязкой к подразделениям и оборудованию.	ОК, Цехи
	3.2	Допустимый график работы персонала с привязкой к календарю	Цехи
4	По инструменту и оснастке		
	4.1	Перечень технологической оснастки и инструмента с указанием шифров для каждой операции	ОГТ, ОГК, Цехи
	4.2	Перечень покупной оснастки и инструмента	ОГТ, Цехи
	4.3	Перечень оснастки и инструмента, подлежащих изготовлению	ОГТ, ОГК, Цехи
	4.4	Наличие оснастки и инструмента, их сроки поставок или изготовления	ОГТ, ОГК, Цехи

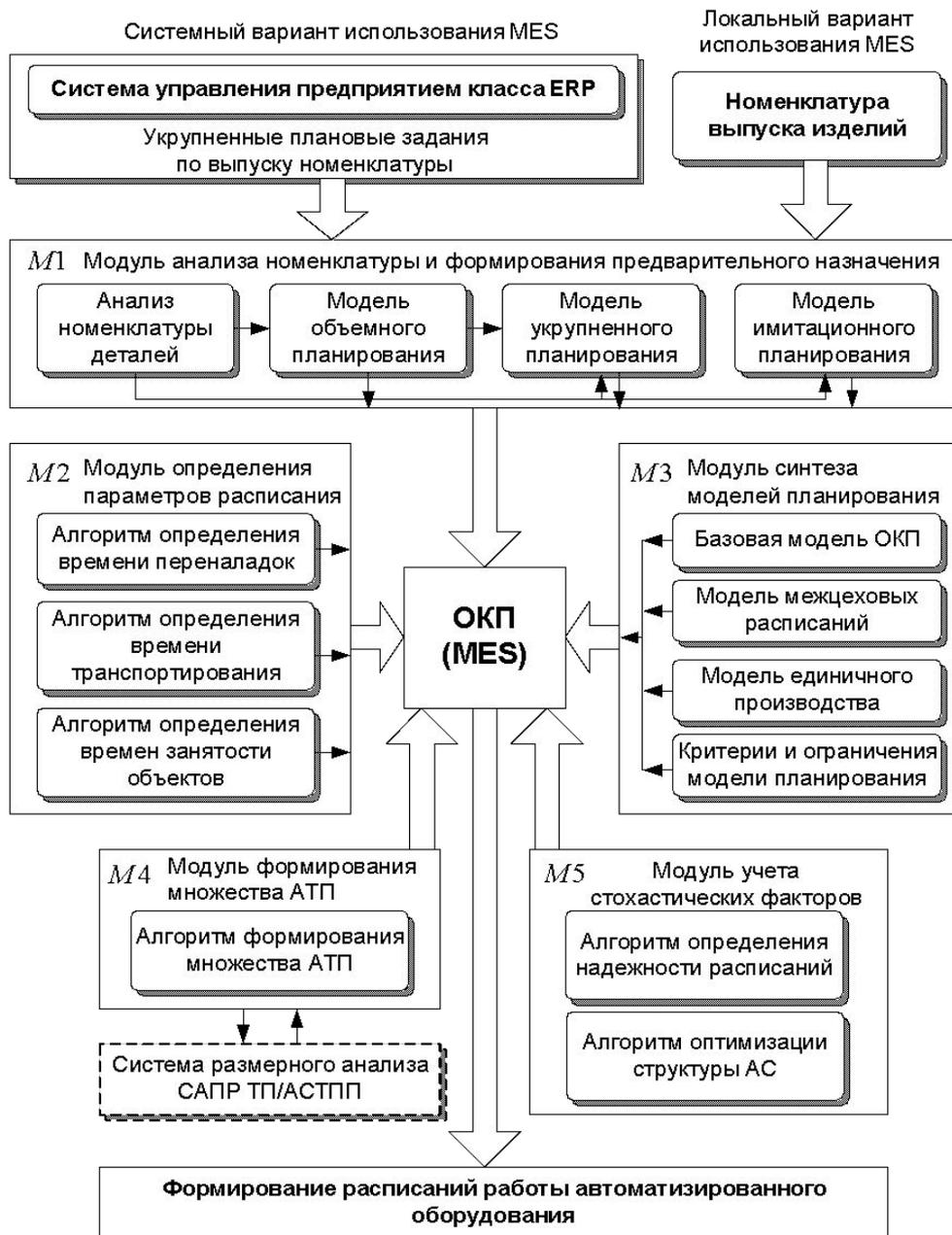
5	По комплектующим		
	5.1	Перечень комплектующих и стандартных изделий с указанием шифров для каждой операции	ОГТ, ОГК, Цехи
	5.2	Наличие комплектующих и стандартных изделий, их сроки поставок или изготовления	ОГТ, ОГК, Цехи
6	По материалам		
	6.1	Перечень материалов с указанием шифров для каждой операции	ОГТ, ОГК, Цехи, ОМТС
	6.2	Наличие материалов, их сроки поставок или изготовления	ОГТ, ОГК, Цехи, ОМТС
7	По документации		
	7.1	Наличие технологической и конструкторской документации по всем единицам продукции	ОГТ, ОГК, Цехи
	7.2	Наличие управляющих программ по всем единицам продукции	ОГТ, ОГК, Цехи, АСУ ТП
8	По денежным ресурсам		
	8.1	Имеющийся фонд заработной платы	Данные служб предприятия
	8.2	Текущее состояние счета предприятия	
	8.3	Сумма заемных средств и график погашения кредитов	
9	По срокам, количеству и стоимости изготовления		
	9.1	Количество выпускаемой продукции по каждому виду	Данные служб предприятия
	9.2	Сроки выпуска каждой единиц продукции	
	9.3	Норма прибыли на каждый вид продукции	
	9.4	Отпускная цена на каждый вид продукции	
	9.5	Стоимости работы единиц оборудования (по всему парку)	
	9.6	Перечень стоимостей всех работ и операций с указанием квалификации работника	
	9.7	Затраты на инструмент и оснастку по каждой единице продукции	
	9.8	Затраты на комплектующие по каждой единице продукции	
	9.9	Затраты на материалы	
	9.10	Прочие затраты	
10	Прочие данные		

## Функции MES-систем

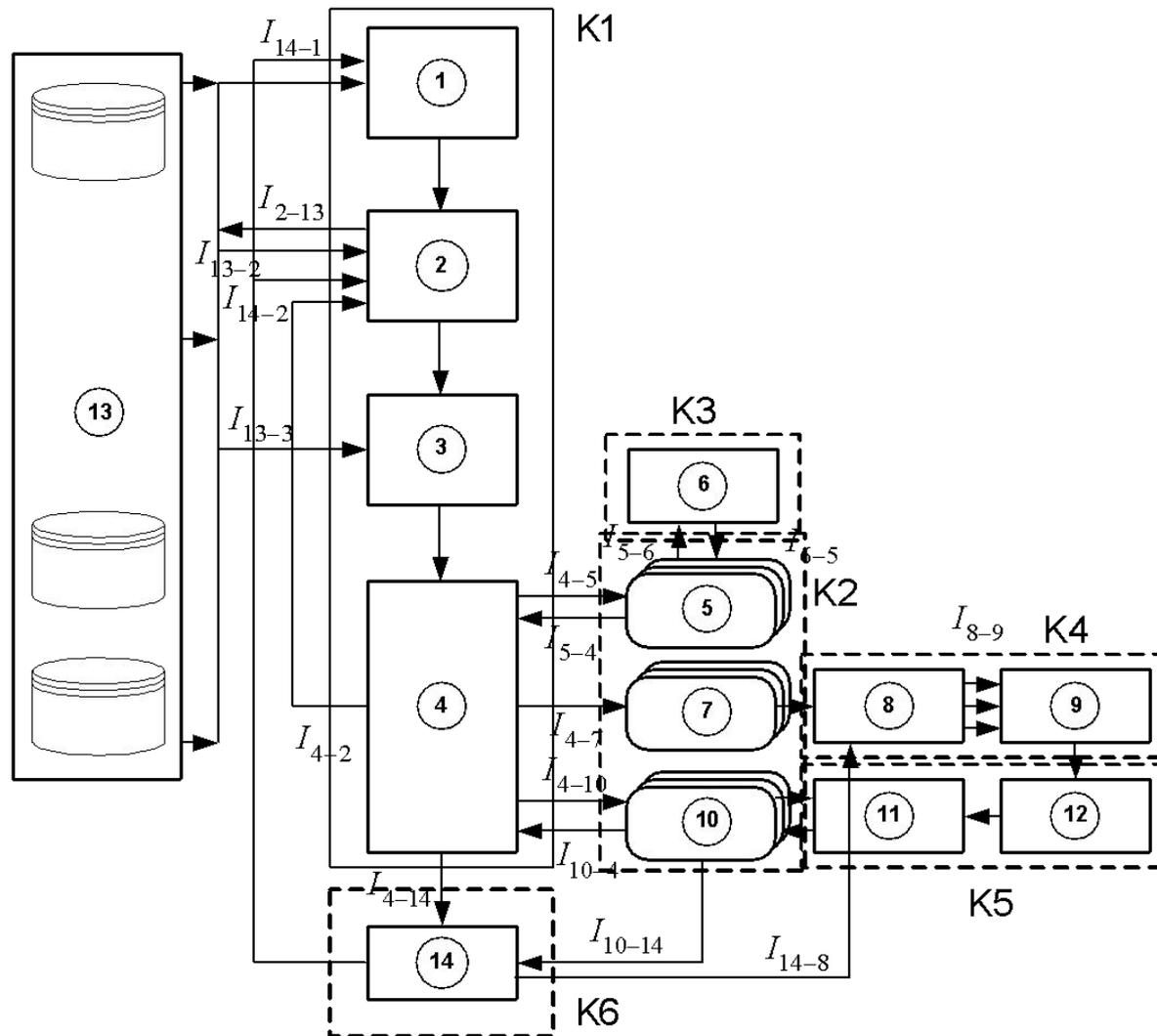
№	Основные функции
1	<b>Контроль состояния и распределение ресурсов (Resource Allocation and Status – RAS)</b> – Управление ресурсами производства: технологическим оборудованием, материалами, персоналом, документацией, инструментами, методиками работ.
2	<b>Оперативное/Детальное планирование (Operations/Detail Scheduling – ODS)</b> – Расчет производственных расписаний, основанный на приоритетах, атрибутах, характеристиках и способах, связанных со спецификой изделий и технологией производства.
3	<b>Диспетчеризация производства (Dispatching Production Units – DPU)</b> – Управление потоком изготавливаемых деталей по операциям, заказам, партиям, сериям, посредством рабочих нарядов.
4	<b>Управление документами (Document Control – DOC)</b> – Контроль содержания и прохождения документов, сопровождающих изготовление продукции, ведение плановой и отчетной цеховой документации.
5	<b>Сбор и хранение данных (Data Collection/Acquisition – DCA)</b> – Взаимодействие информационных подсистем в целях получения, накопления и передачи технологических и управляющих данных, циркулирующих в производственной среде предприятия.
6	<b>Управление персоналом (Labor Management – LM)</b> – Обеспечение возможности управления персоналом в ежеминутном режиме.
7	<b>Управление качеством продукции (Quality Management – QM)</b> – Анализ данных измерений качества продукции в режиме реального времени на основе информации поступающей с производственного уровня, обеспечение должного контроля качества, выявление критических точек и проблем, требующих особого внимания.
8	<b>Управление производственными процессами (Process Management – PM)</b> – Мониторинг производственных процессов, автоматическая корректировка либо диалоговая поддержка решений оператора.
9	<b>Управление техобслуживанием и ремонтом (Maintenance Management – MM)</b> – Управление техническим обслуживанием, плановым и оперативным ремонтом оборудования и инструментов для обеспечения их эксплуатационной готовности.
10	<b>Отслеживание истории продукта (Product Tracking and Genealogy – PTG)</b> – Визуализация информации о месте и времени выполнения работ по каждому изделию. Информация может включать отчеты: об исполнителях, технологических маршрутах, комплектующих, материалах, партионных и серийных номерах, произведенных переделках, текущих условиях производства и т.п.
11	<b>Анализ производительности (Performance Analysis – PA)</b> – Предоставление подробных отчетов о реальных результатах производственных операций. Сравнение плановых и фактических показателей.



Структура системы ОКП в MES

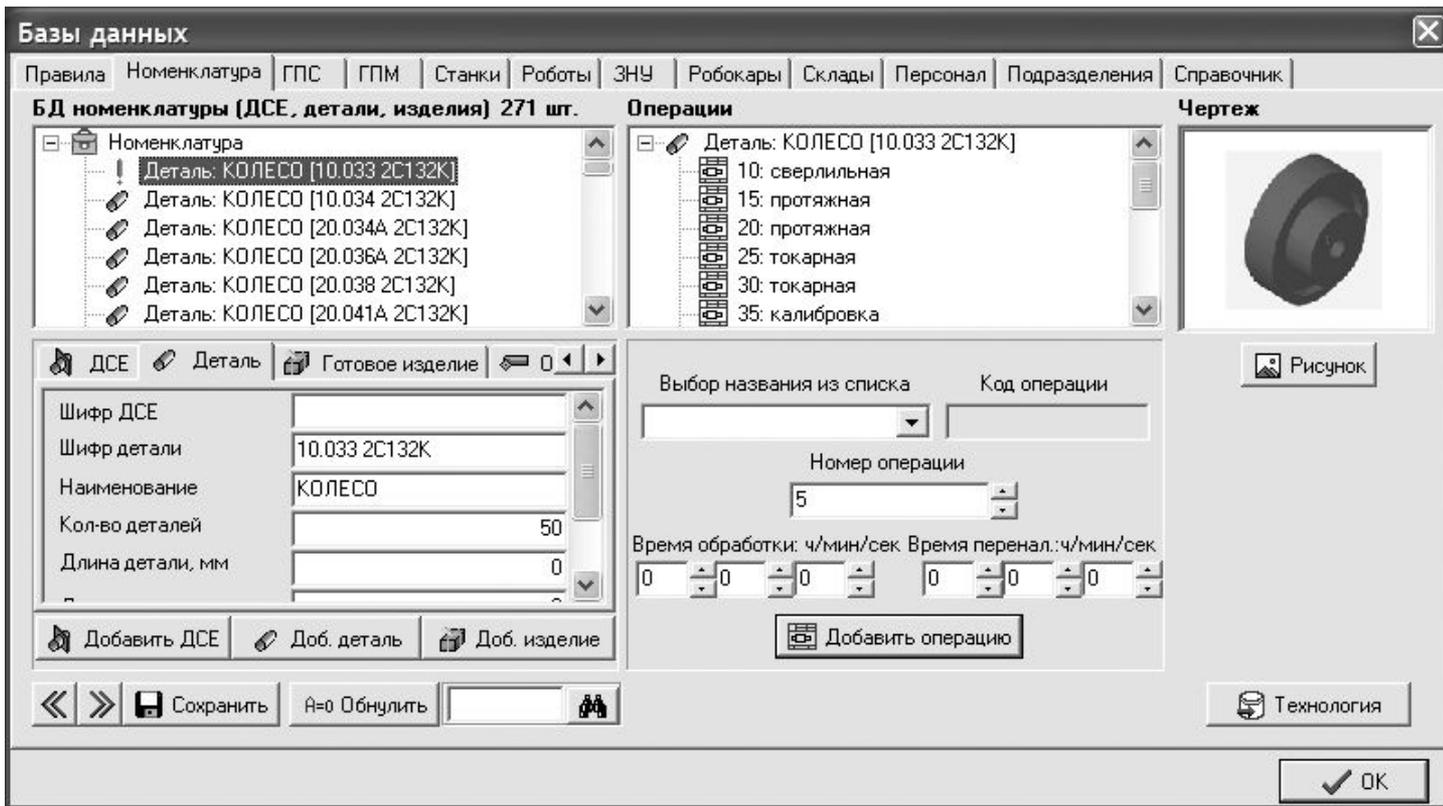


Функциональная структура MES-системы



Структурная схема системы ОКП:

1 – модуль информационного обеспечения; 2 – предварительное планирование; 3 – формирование моделей ОКП; 4 – планирование; 5 – интерфейс ОКП-САПР ТП; 6 – САПР ТП; 7 – интерфейс ОКП – СУ цехом; 8 – система управления цехом; 9 – оборудование; 10 – интерфейс диспетчирования – ОКП; 11 – диспетчирование; 12 – интерфейс оборудование – диспетчирование; 13 – система БД; 14 – система мониторинга и директивного управления

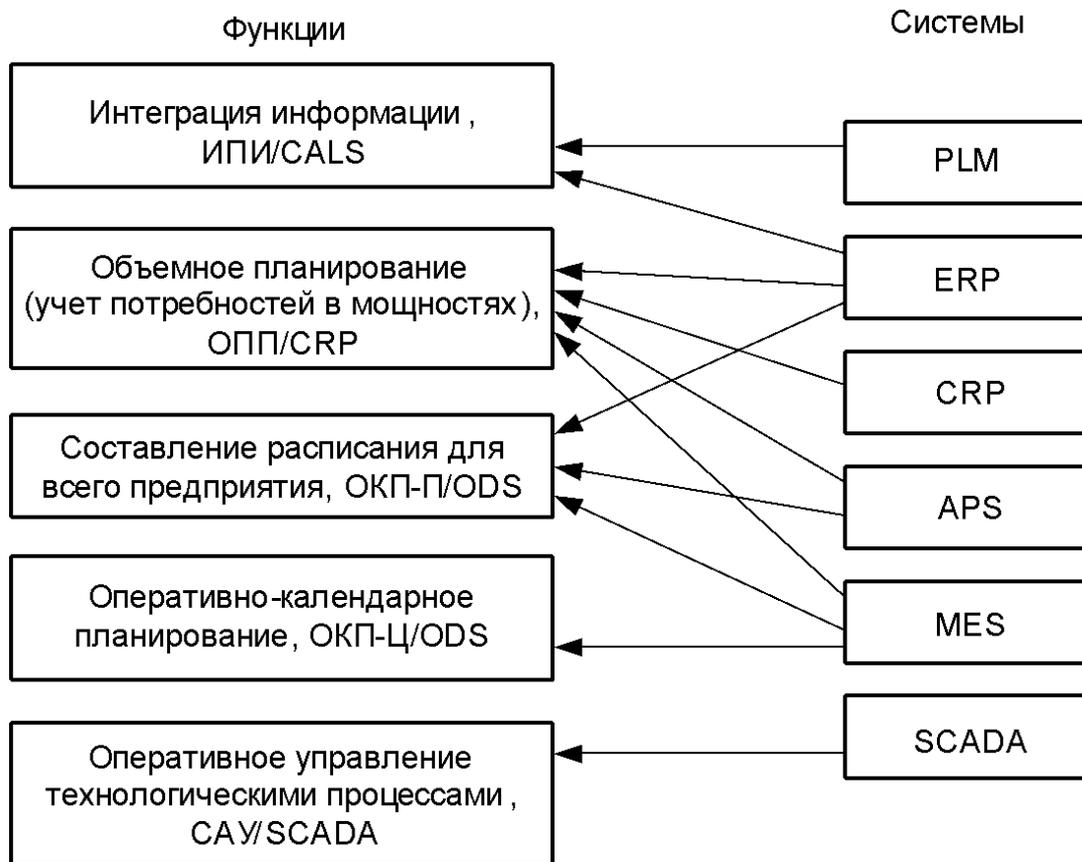


Система справочников и БД в MES-системе PolyPlan

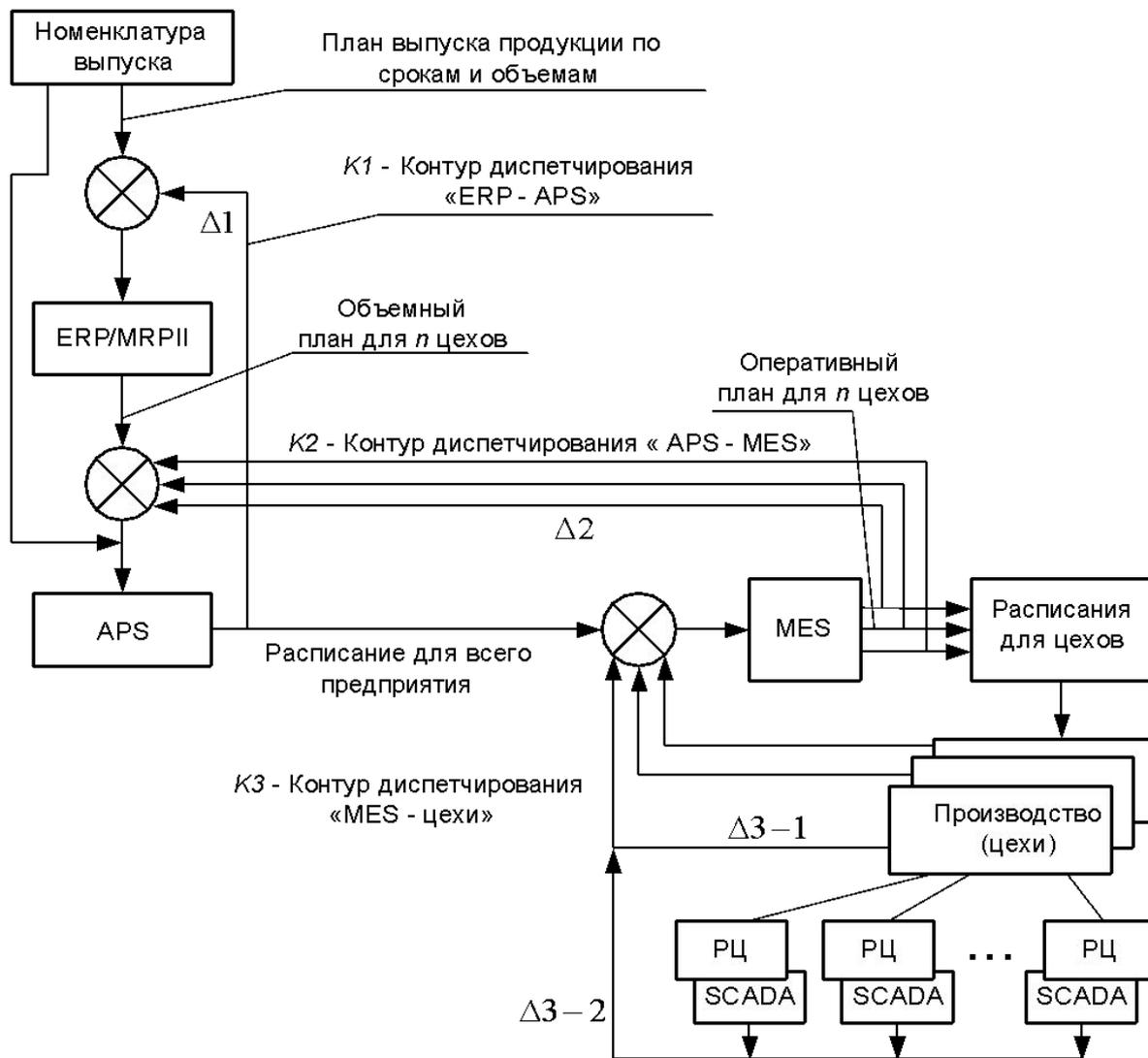
Матрица возможности обработки

$$M_{BO_k} \{d_1 \{e_{11k}^{BO} (1/0), e_{12k}^{BO} (1/0), \dots, e_{1h_1k}^{BO} (1/0)\}, \dots, d_n \{e_{n1k}^{BO} (1/0), \dots, e_{nh_k}^{BO} (1/0)\}\}$$

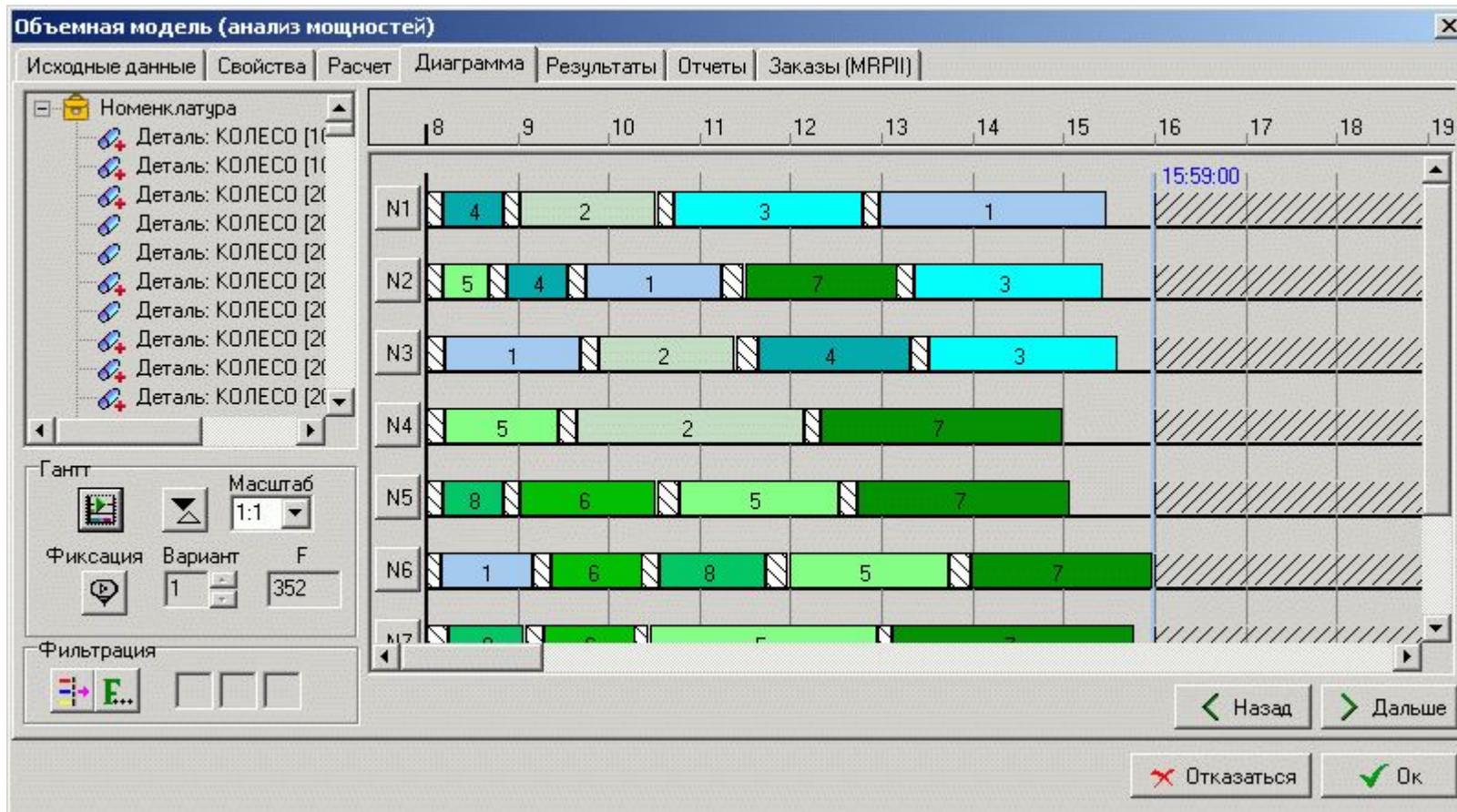
$$\sum_{k=1}^n e_{ijk}^{BO} \geq 1, \quad i \in M^0, j \in [1, p_i], k \in N$$



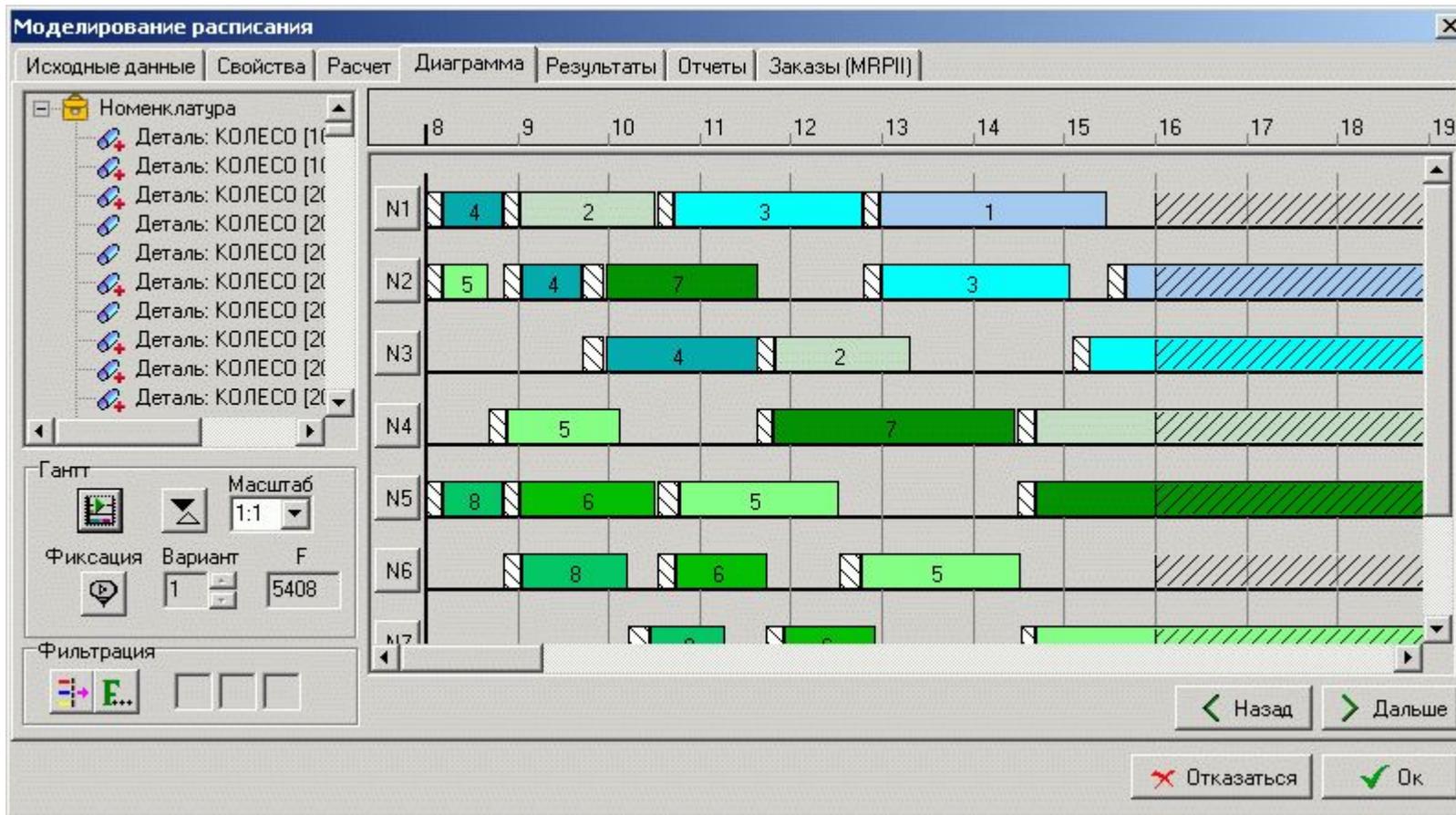
Взаимосвязь функций и систем управления



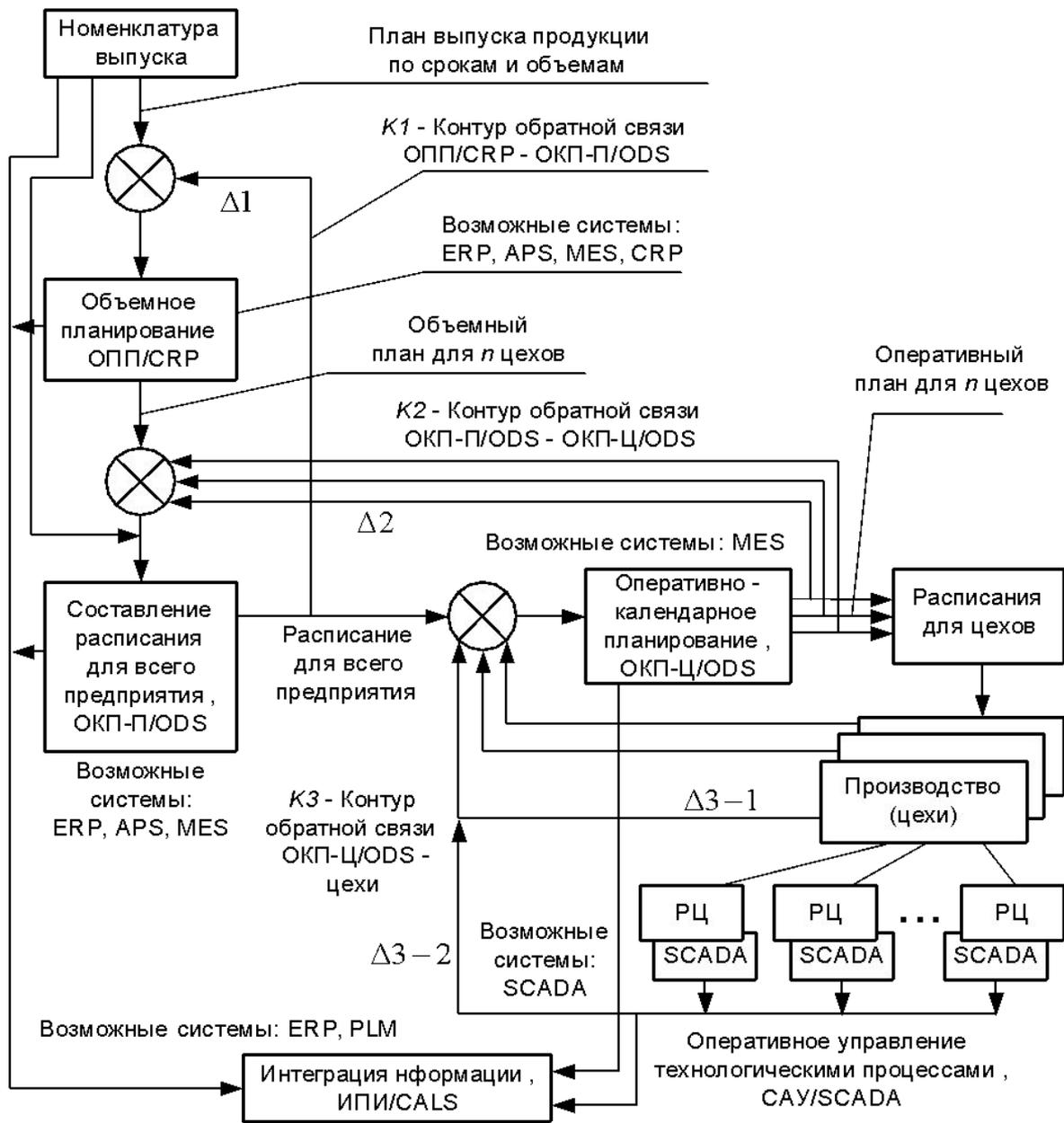
Четырехзвенная схема системы планирования на предприятии



Решение объемной задачи в MES-системе PolyPlan



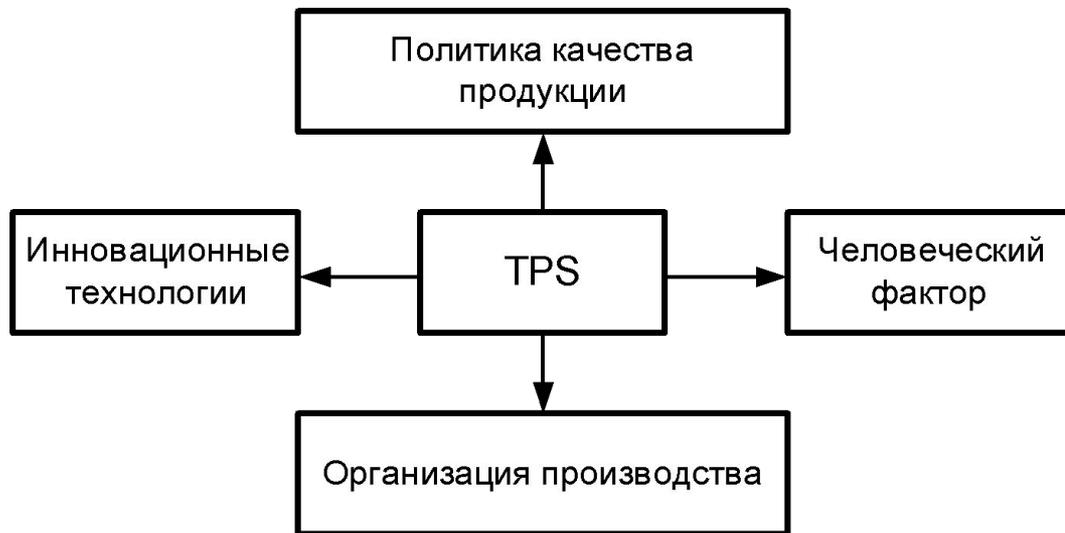
Составление расписания в MES-системе PolyPlan



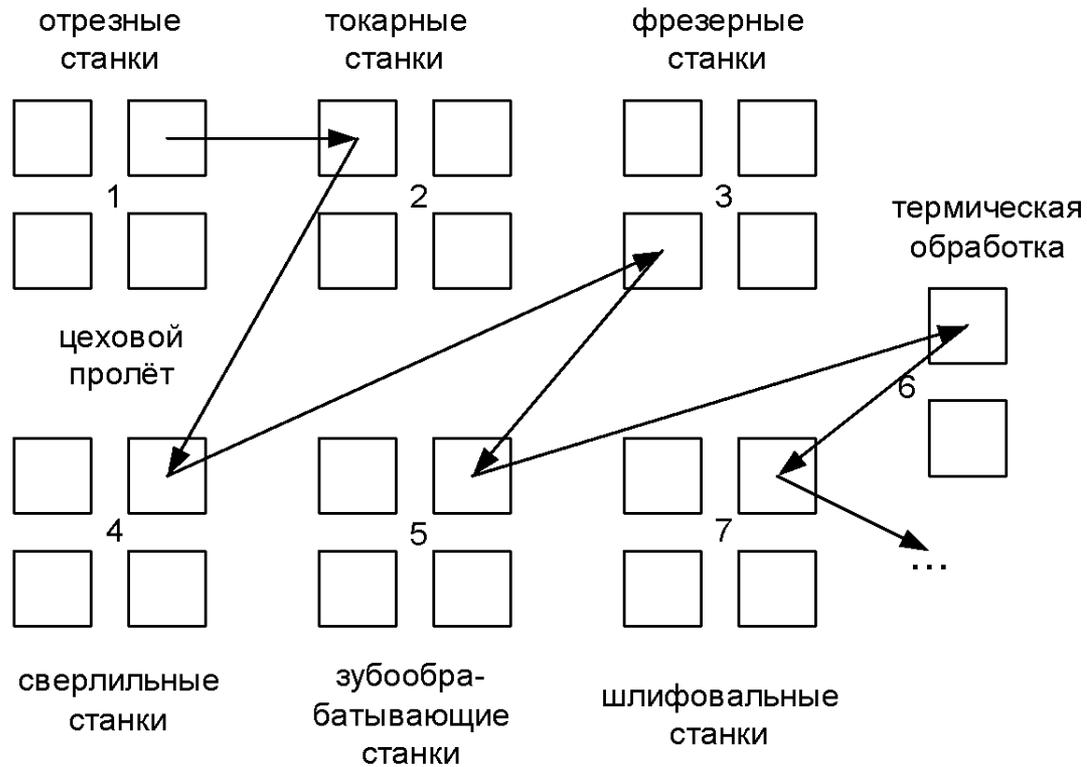
3

№	Функции	Варианты решений	Назначение	Особенности
1	{(ОПП/CRP), (ОКП-П/ODS)}	MES	Бюджетное решение для малых предприятий.	Планирование и диспетчирование производственных процессов для парка оборудования не более 200 ОУ
		CRP, APS	Бюджетное решение для малых и средних предприятий.	Планирование производственных процессов
2	{(ОПП/CRP), (ОКП-П/ODS), (ОКП-Ц/ODS)}	APS, MES	Бюджетное решение для малых и средних предприятий.	Планирование и диспетчирование производственных процессов
		CRP, APS, MES,	Решение для малых и средних предприятий	Планирование и диспетчирование производственных процессов
3	{(ОПП/CRP), (ОКП-П/ODS), (ОКП-Ц/ODS), (САУ/SCADA)}	APS, MES, SCADA	Бюджетное решение для средних предприятий	Планирование и диспетчирование производственных процессов, контроль выполнения технологических процессов
		CRP, APS, MES, SCADA	Решение для средних и крупных предприятий	Планирование и диспетчирование производственных процессов, контроль выполнения технологических процессов
4	{(ОПП/CRP), (ОКП-П/ODS), (ОКП-Ц/ODS), (САУ/SCADA), (ИПИ/CALS)}	PLM, CRP, APS, MES, SCADA	Бюджетное решение для крупных предприятий	Планирование и диспетчирование производственных и вспомогательных процессов, контроль технологических процессов, неполная интеграция информации на предприятии
		ERP, PLM, CRP, APS, MES, SCADA	Полномасштабное решение для крупных предприятий.	Планирование и диспетчирование производственных и вспомогательных процессов, контроль технологических процессов, полная интеграция информации на предприятии

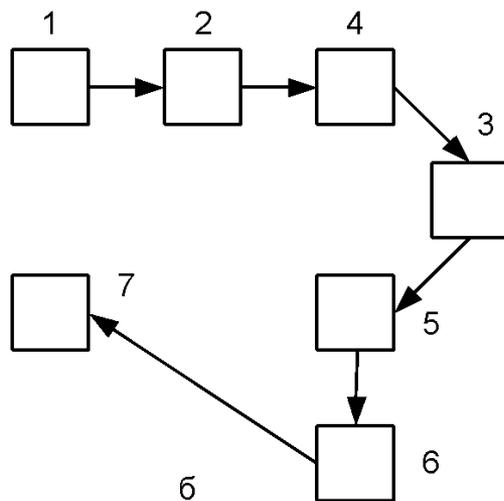
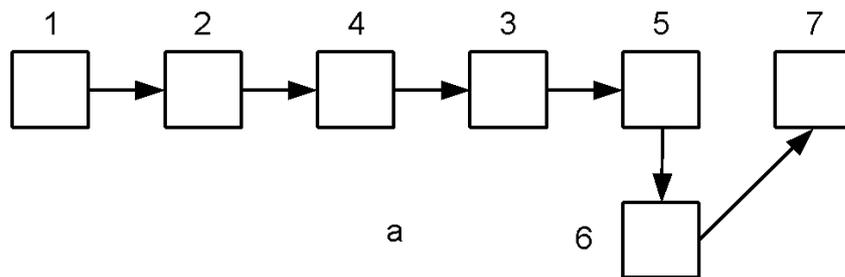
Некоторые возможные системные решения



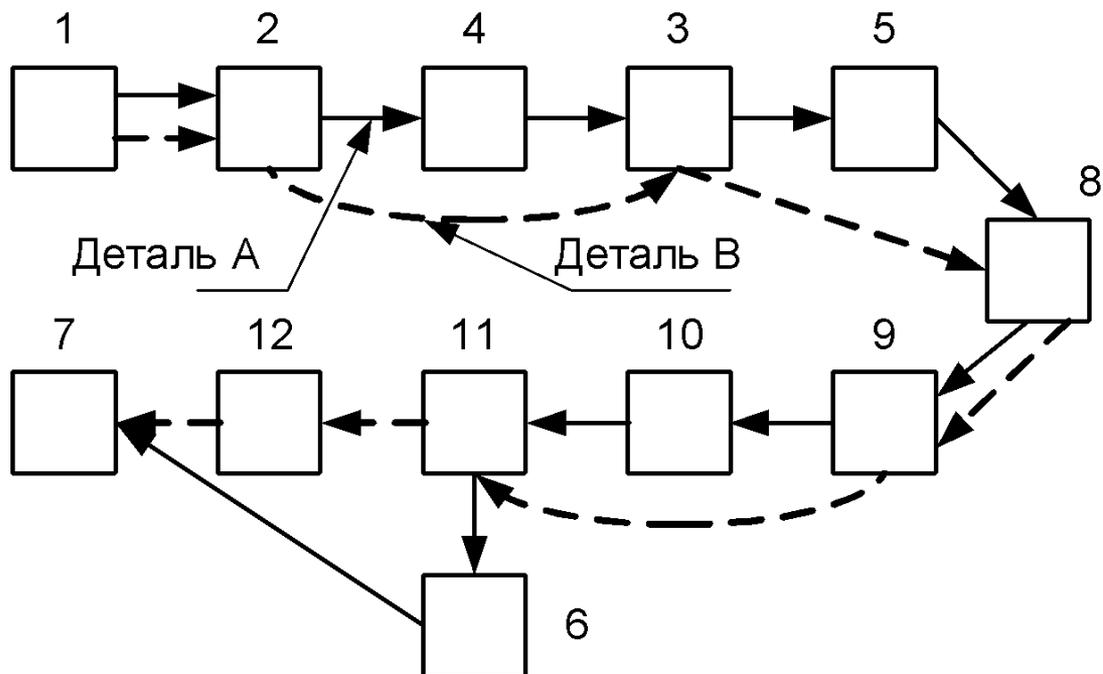
Основные составляющие системы TPS



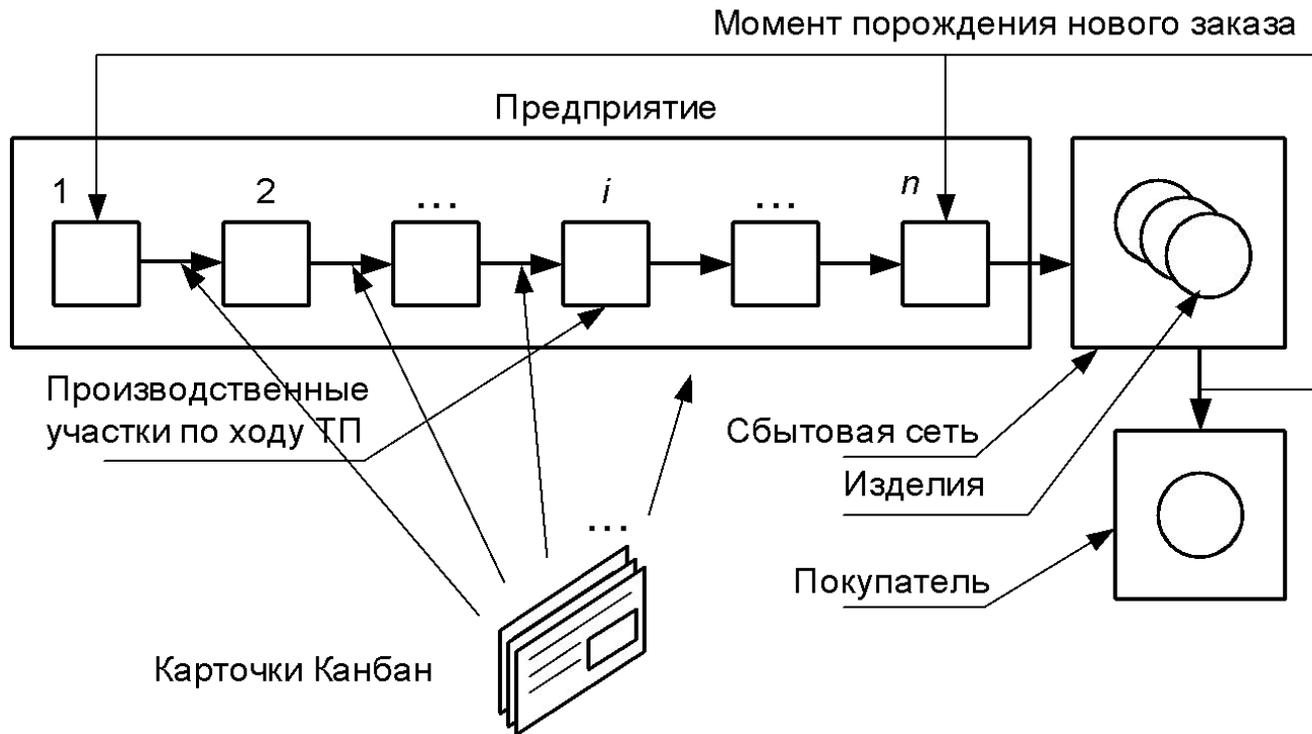
Групповая расстановка оборудования



Расстановка оборудования в виде предметно-замкнутого участка



Расстановка оборудования в виде предметно-замкнутого участка по принципу типового ТП



Принципиальная схема функционирования системы Канбан

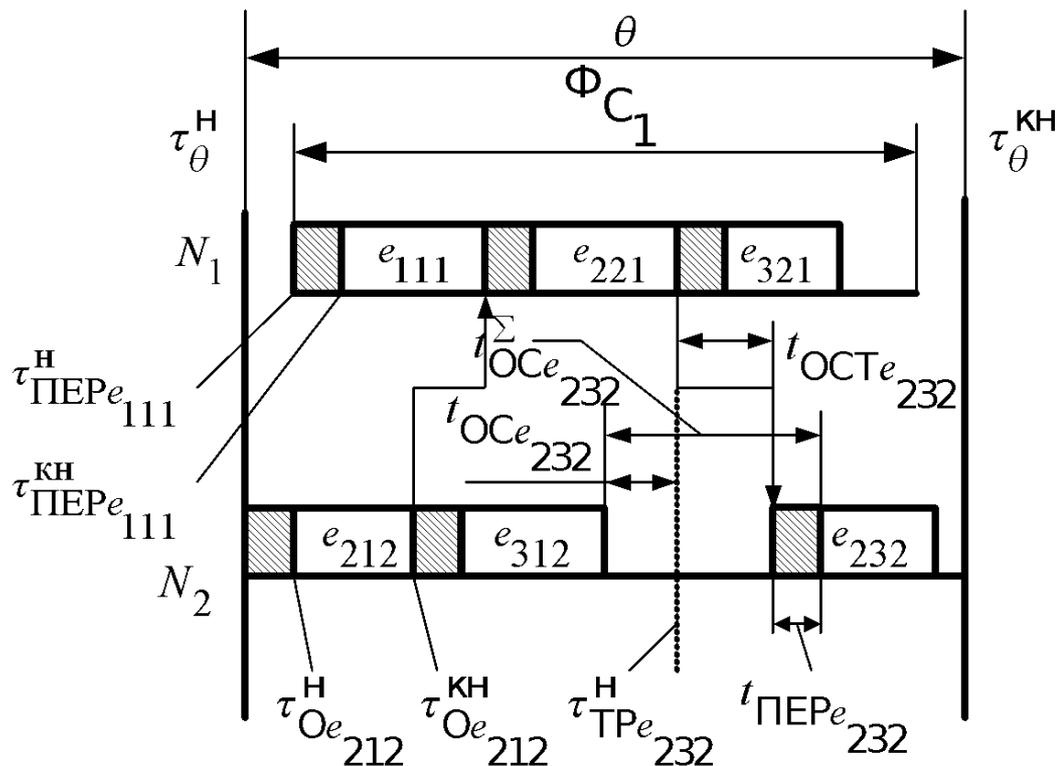
<p>Дата и время</p> <p>Предприятие</p>	<p>Адрес участка-получателя</p> <p>Шифр и наименование детали</p> <p>Количество деталей , при котором заказ на предыдущий участок возобновляется</p>	<p>Номер производст- венного участка</p> <p>Количество передаваемых деталей</p>
--	--	---

Структура карточки Канбан

Основной задачей оперативно-календарного планирования в MES-системах является построение четкой последовательности выполнения технологических и вспомогательных операций на заданном интервале времени в пределах производственного цеха, участка или иного комплекса оборудования. Такая последовательность называется *расписанием* работы оборудования.

$e_{ijk}$  - единица планирования (ЕП), где  $i$  – номер детали,  $j$  – номер операции,  $k$  – номер РЦ, на котором будет выполняться данная ЕП

$p_i$  - количество операций для любой ЕП



Пример расписания работы цеха

**Математическая модель  
ОКП  
в MES**

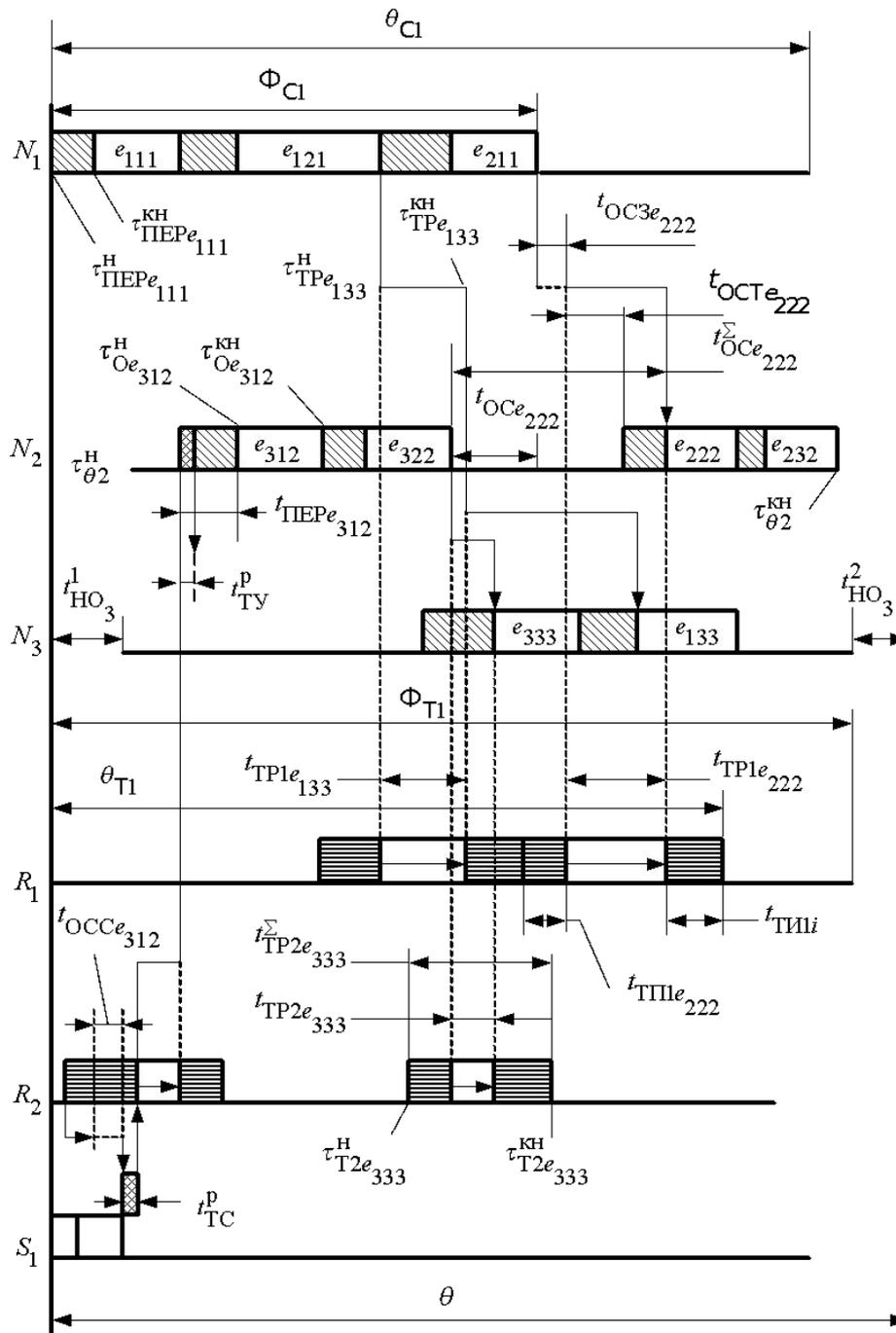


Диаграмма произвольного  
расписания

4

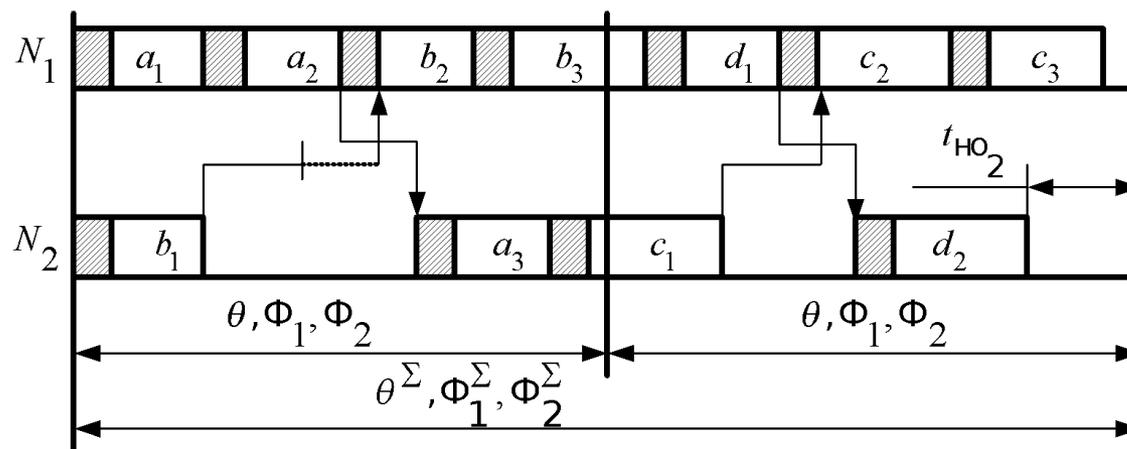
$$I \left\{ F = f \left( \begin{array}{l} \sum_{k=1}^n t_{\text{ПЕР}e_{ijk}}, \sum_{k=1}^n t_{\text{ОС}e_{ijk}}, \sum_{k=1}^n t_{\text{ОСТ}e_{ijk}}, \\ \sum_{k=1}^n t_{\text{ОСЗ}e_{ijk}}, \sum_{k=1}^n t_{\text{ОСС}e_{ijk}}, \sum_{k=1}^n t_{\text{НО}k} \end{array} \right) \rightarrow \min \right. \left. V \left\{ \begin{array}{l} \sum_{m=1}^{Z_s} (t_{\text{С}Y_{lm}}^{\Sigma} + t_{\text{С}C_{lm}}^{\Sigma}) \leq \Phi_{\text{С}Kl}; \quad l \in S\{1, s, n\}; \\ \tau_{\text{С}l^{e_{ijk}}}^{\text{H}} \geq \tau_{\text{С}l^{e_{mhq}}}^{\text{KH}}, \quad l \in S; i, m \in M; k, q \in N\{1, n\}; \end{array} \right. \right.$$

$$II \left\{ \begin{array}{l} e_{ijk} \{w_{ijk}, v_{ijk}\}; \\ \tau_{\text{O}e_{ijk}}^{\text{H}} \geq \tau_{\text{O}e_{ij-1s}}^{\text{KH}}, \quad k, s \in N\{1, n\}; \\ \tau_{\text{O}e_{ilk}}^{\text{H}} \geq \tau_{\text{O}e_{dp_d^s}}^{\text{KH}} \mid e_i \in M^E \vee e_d \in e_i; \quad k, s \in N\{1, n\}; \end{array} \right. VI \{B\{B_v\}$$

$$III \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} e_{ijk} (a_{ij} \cdot t_{\text{O}e_{ijk}} + t_{\text{ПЕР}e_{ijk}} + t_{\text{ОС}e_{ijk}} + t_{\text{ОСТ}e_{ijk}} + t_{\text{ОСЗ}e_{ijk}} + \\ + t_{\text{ОСС}e_{ijk}}) \leq \Phi_{\text{С}k}; \end{array} \right.$$

$$IV \left\{ \begin{array}{l} \sum_{m=1}^{Z_l} (t_{\text{Т}P_{lm}^{e_{ijk}}}^{\Sigma} + t_{\text{Т}Y_{lm}^{e_{ijk}}}^{\Sigma} + t_{\text{Т}C_{lm}^{e_{ijk}}}^{\Sigma}) \leq \Phi_{\text{Т}l}, l \in R\{1, r\}; \\ \tau_{\text{Т}l^{e_{ijk}}}^{\text{H}} \geq \tau_{\text{Т}l^{e_{mhq}}}^{\text{KH}}, \quad l \in R; i, m \in M; k, q \in N\{1, n\}; \end{array} \right.$$

Планирование с увеличенным фондом времени



4

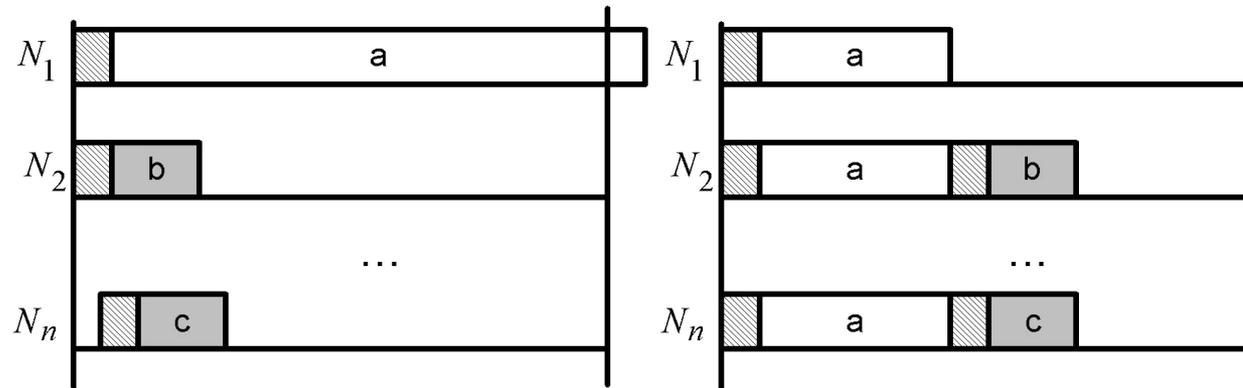
$t_{Oe_{ijk}}$  - нормируемая величина.

### Величина партии запуска

Величина партии запуска ДСЕ  $a_{ij}$  часто представляется как величина постоянная на всех операциях

$A_i$  - общая программа запуска той или иной ДСЕ

В крупносерийных и среднесерийных производствах существует альтернатива – либо  $a_i = A_i$ , либо  $a_i < A_i$



Дробление величины партии запуска

4  
Единицу планирования, а также деталь и всю номенклатуру можно представить в виде следующего множества технических и технологических характеристик:

$$T_{e_{ij}} = [X_{1e_{ij}}, X_{2e_{ij}}, \dots, X_{xe_{ij}}] \quad T_{d_i} = [[T_{e_{i1}}], [T_{e_{i2}}], \dots, [T_{e_{ip_i}}]] \quad T_M = [[T_{d_1}], [T_{d_2}], \dots, [T_{d_m}]]$$

Состояние любой подсистемы характеризуется как составом постоянных характеристик и функциональных возможностей, представляющих собой неизменные параметры (возможности оборудования, силовые, скоростные, точностные и другие параметры), так и составом технологических ресурсов, которые находятся в подсистеме в какой-либо момент времени. Таким образом, для всех трех подсистем справедливо отношение:

$$T_{wk}^0 = T_{wk} \square T'_{wk}; \quad w \in \{C, R, Z\}$$

Если постоянную и переменную части всей информации, относящейся к  $k$ -му РЦ, выразить соответственно как

$$T_{\text{РЦ}k} = T_{Ck} \square T_{Rk} \square T_{Zk} \quad T'_{\text{РЦ}k} = T'_{Ck} \square T'_{Rk} \square T'_{Zk}$$

то любое  $l$ -е состояние  $k$ -го РЦ при обработке ЕП, с точки зрения ресурсов, зависит от этих характеристик:

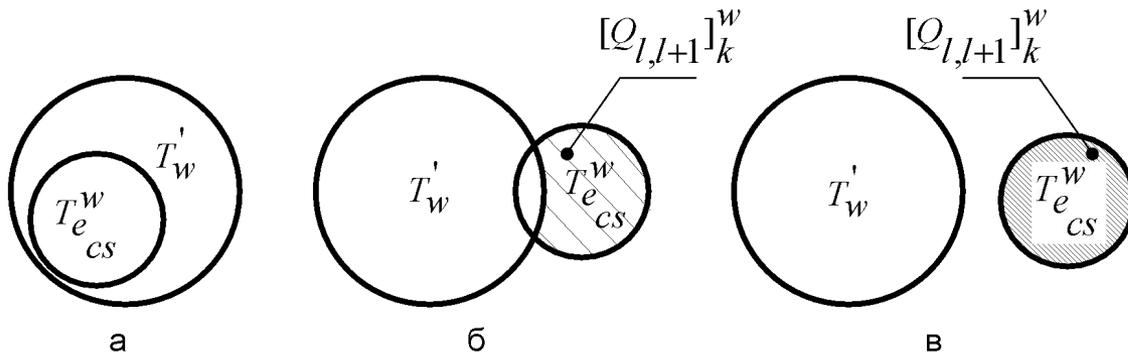
$$S_{lk}(e_{ij}) = T_{\text{РЦ}k} \square T'_{\text{РЦ}k}$$

Комплекс операций переналадок в РЦ при поступлении новой ЕП  $e_{co}$ , после предыдущей  $e_{ij}$ , т.е. при переходе РЦ из  $l$ -го состояния в  $l+1$ -е, в общем виде можно представить как

$$Q_{l,l+1}(e_{co}) = f(S_l(e_{ij}), T_{e_{co}})$$

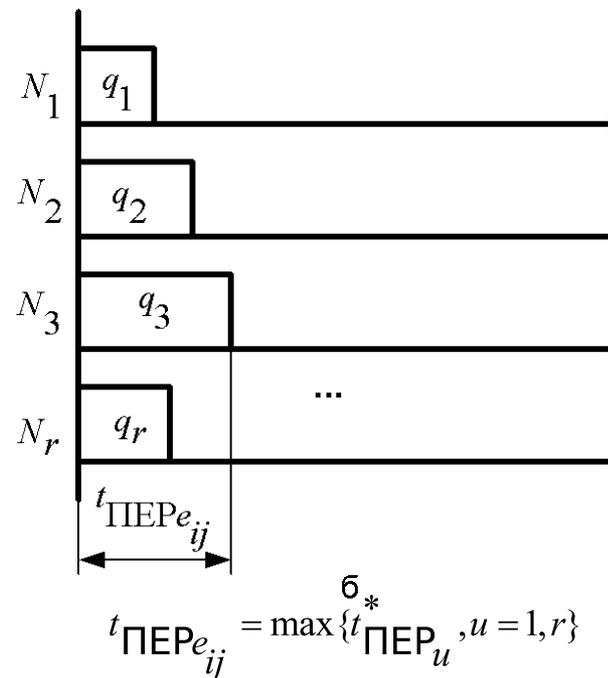
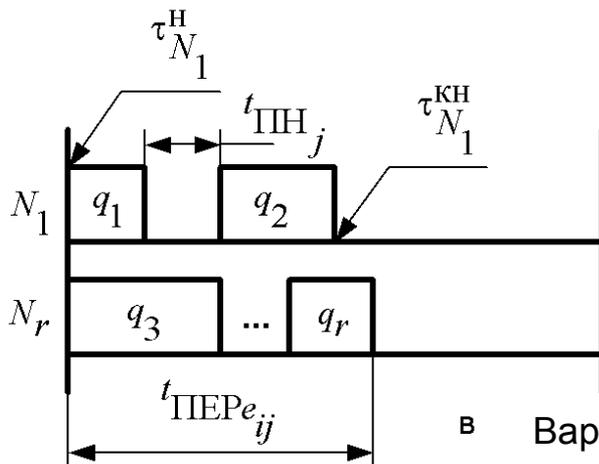
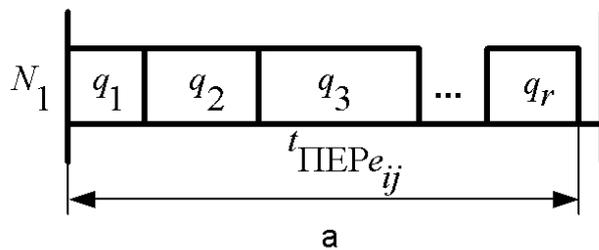
Для каждой из подсистем  $k$ -го РЦ состав операций переналадок можно описать следующим выражением:

$$[Q_{l,l+1}]_k^w = [T_{e_{cs}}^w] \setminus [T'_w]_k$$



Варианты состава процесса переналадок в РЦ

$$t_{\text{ПЕР}e_{ij}} = \left[ 0 \dots \sum_{u=1}^r t_{\text{ПЕР}u}^* ([Q_{l,l+1}]_k^w) \right]_k$$



$$t_{\text{ПЕР}e_{ij}} = \max \{ t_{\text{ПЕР}u}^*, u=1, r \}$$

Варианты выполнения комплекса переналадок

$$F = \min \left\{ \max \left( \tau_{N_j}^H + \sum_{j=1}^{r_j} (t_{\text{ПЕР}e_{ij}}^* \cdot p_{ij} + t_{\text{ПН}j}) \right) \right\}, j = 1, n$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^r p_{ij} = r$$

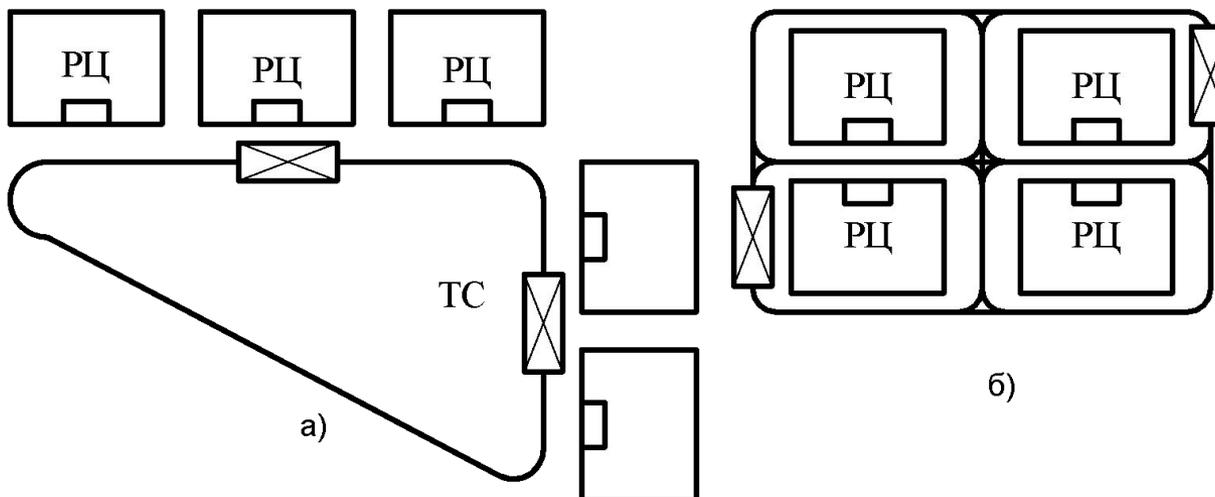
$$\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1, \quad i = 1, r$$

$$Z_C = [z_{C_{ij}}] \neq \emptyset$$

$$Z_{\Pi} = [z_{\Pi_{ij}}] \neq \emptyset$$

Для определения времени транспортной операции обычно, в качестве упрощения, используют матрицу времен перемещения ТС между объектами обслуживания –  $T_{TP}[t_{TP_{ij}}]$

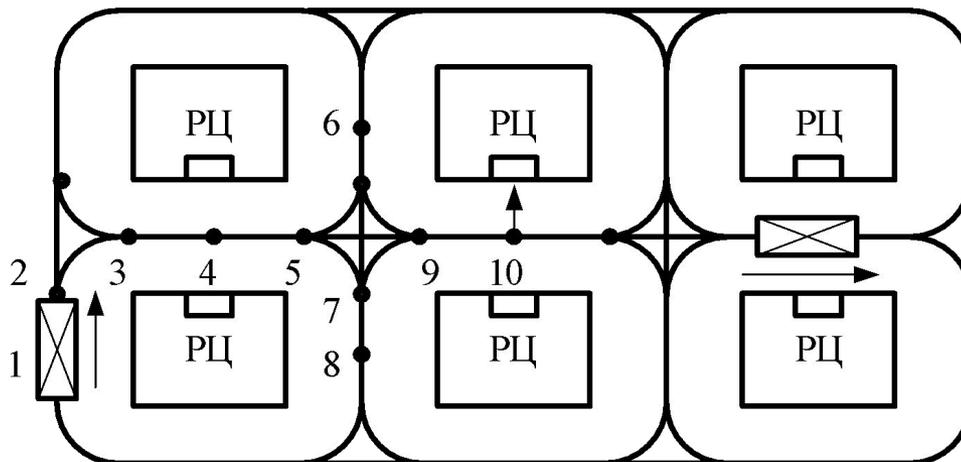
$$t_{TP_{ij}} = \begin{cases} (I): T_{TP}[t_{TP_{ij}} = \text{const}]; \\ (II): T_{TP}[t_{TP_{ij}} = f(i, j)]; \\ (III): T_{TP}[t_{TP_{ij}} = f(i, j, t)] \end{cases}$$



Система с различными вариантами топологии путевода

Тема  
4

Система с сетевой топологией путевода, разбитого на участки

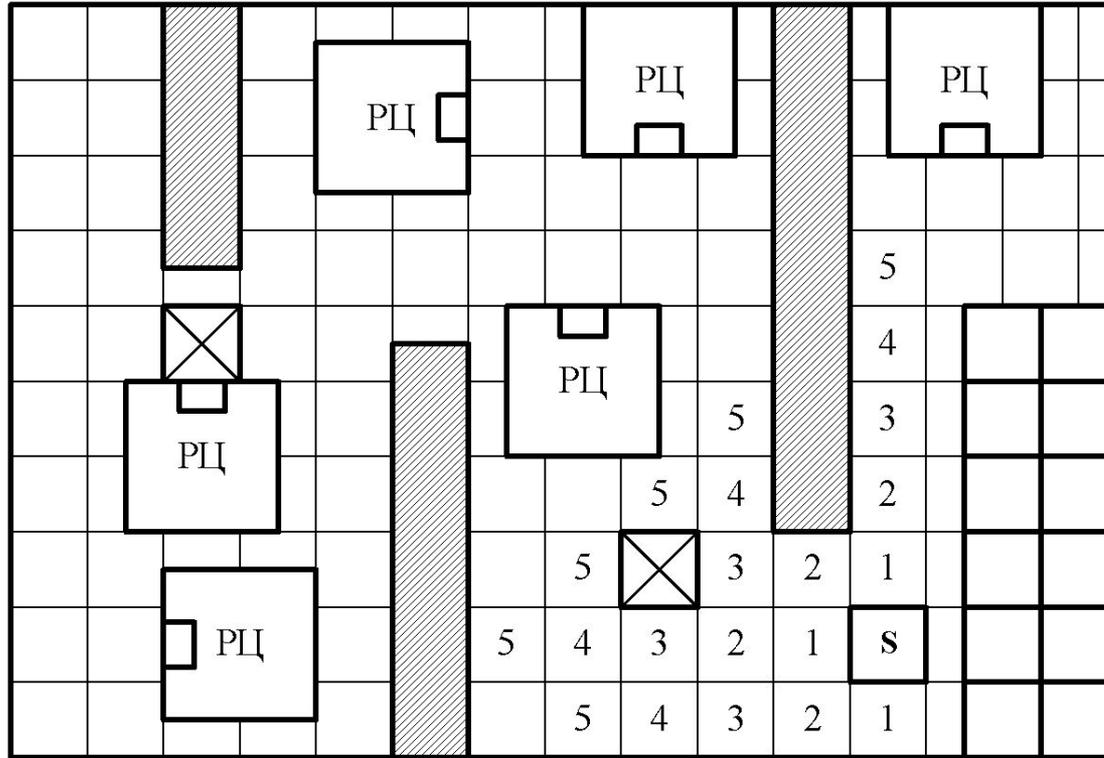


Матрица занятости участков путевода

Номер			Момент начала обслуживания	Момент окончания обслуживания
участка	заявки	ТС		
1	1	2	$\tau_{TP_{0,1}}^H$	$\tau_{TP_{0,1}}^{KH}$
2		2	$\tau_{TP_{1,2}}^H$	$\tau_{TP_{1,2}}^{KH}$
.....	1	2		
10			$\tau_{TP_{9,10}}^H$	$\infty$

Выбор кратчайшего маршрута производится с помощью алгоритма Дейкстры с критерием

$$F = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J t_{ij} \rightarrow \min$$

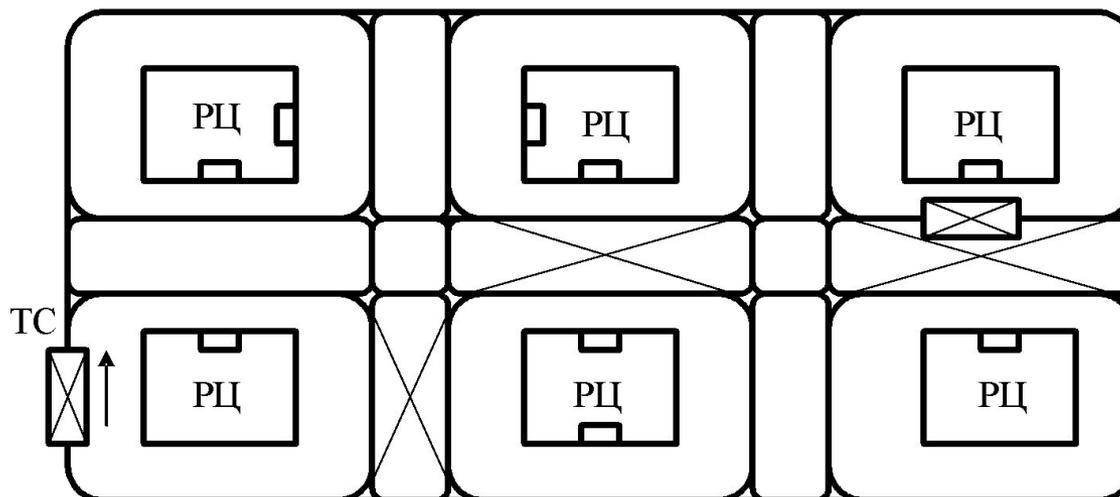


Критерий поиска кратчайшего пути имеет вид

$$F = \min C_{ij}$$

Данные о ячейках представлены временной матрицей

$$T_C = \{c_{ij}(C_{ij}, i, j, \tau_3^H, \tau_3^H)\}$$

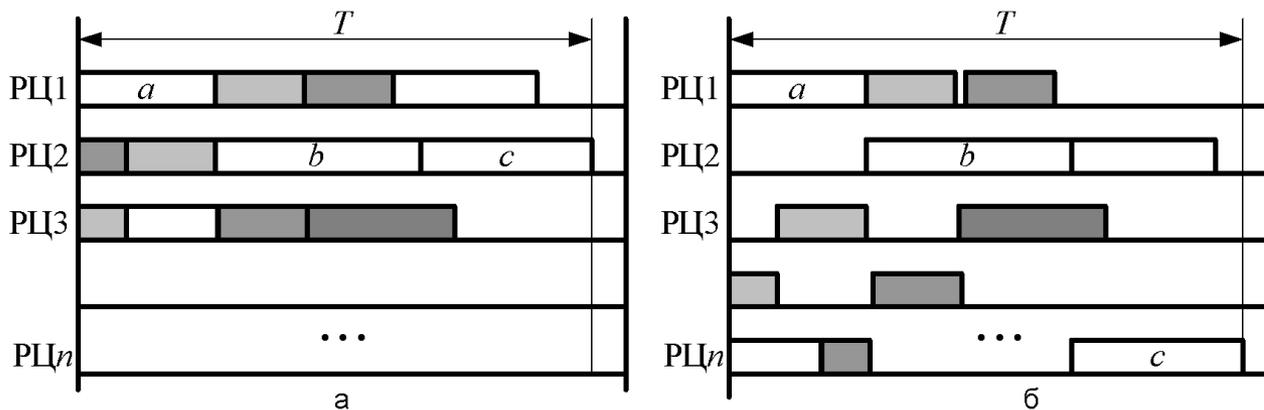


Увеличение пропускной способности ТС

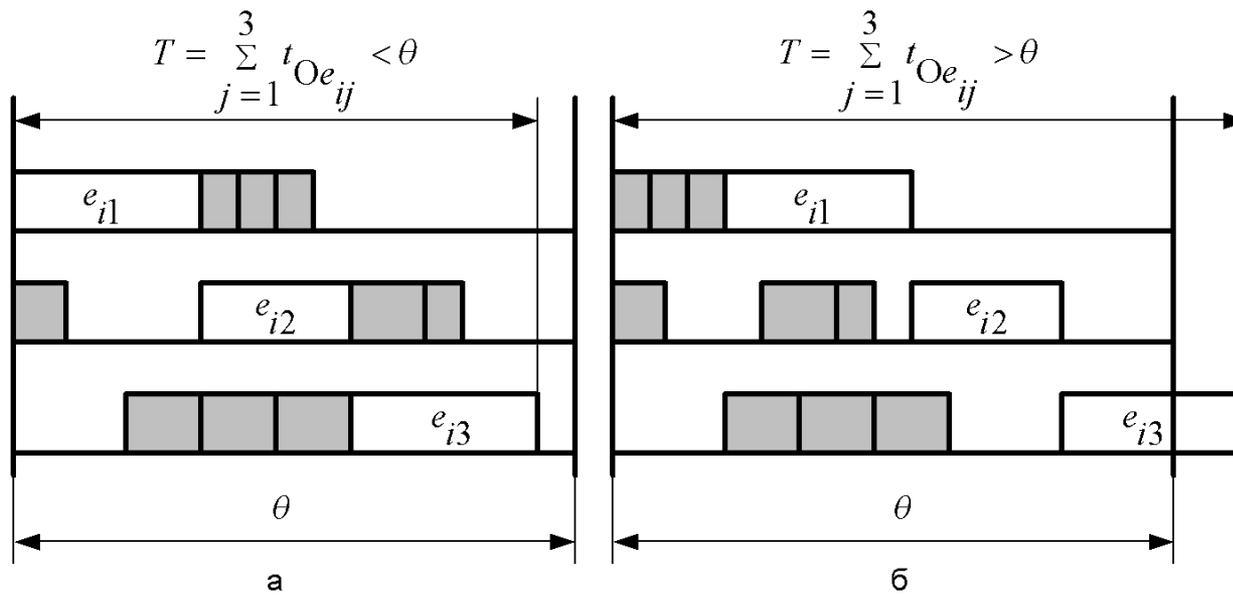
4

В большинстве случаев в различных системах используется такой популярный критерий планирования, как минимум календарной длительности выполнения всего комплекса работ (расписания).

$$F = \max(\tau_{ip_i}^{KH}, i = 1, m) \rightarrow \min \quad \text{или} \quad F = \max(\Phi'_{Ck} | k \in N) \rightarrow \min$$

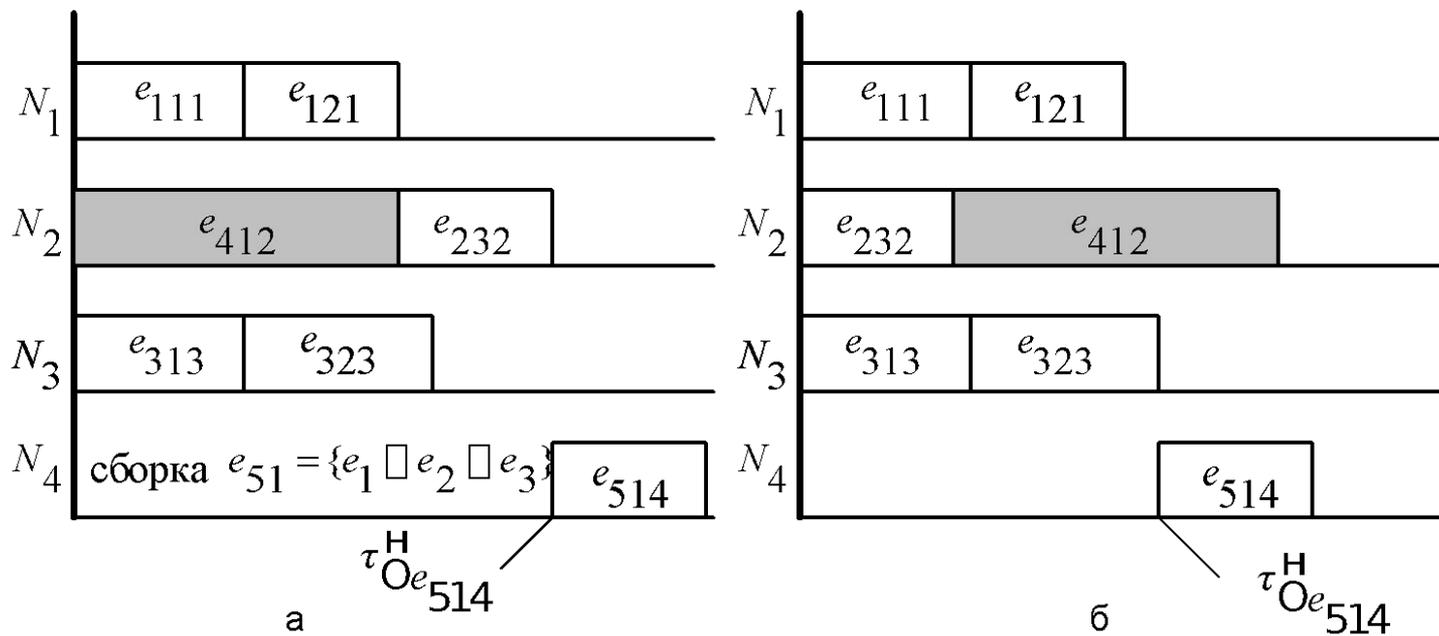


Особенности использования данного критерия  
минимизации



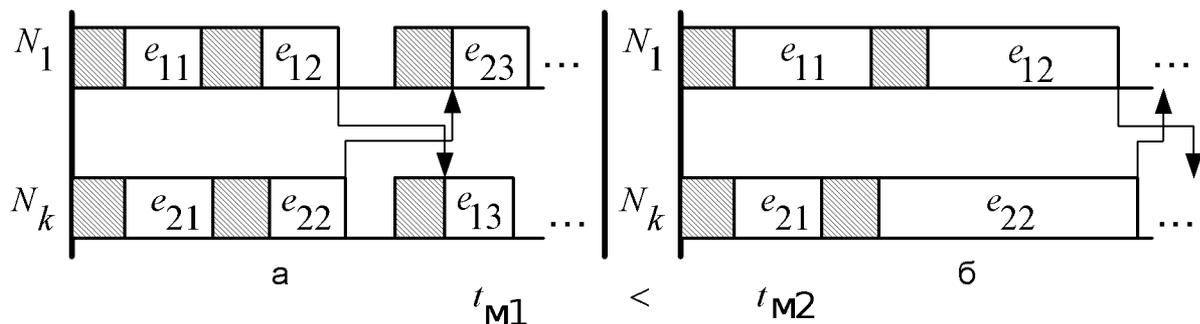
Особенности использования эвристического критерия

№	Назначение критерия	Формальный образ критерия
1	2	3
Критерии временного характера		
$F_{t1}$	Критерий минимума времен переналадок в системе	$\sum_{k=1}^n t_{\text{ПЕР}e_{ijk}} \rightarrow \min$
$F_{t2}$	Критерий минимума времен простоев РЦ на транспортных операциях	$\sum_{k=1}^n t_{\text{ОСТ}e_{ijk}} \rightarrow \min$
$F_{t3}$	Критерий минимума времени простоев РЦ при ожидании поступления партияоперации	$\sum_{k=1}^n t_{\text{ОС}e_{ijk}} \rightarrow \min$
$F_{t4}$	Критерий минимума потерь времени, связанных с занятостью ТС	$\sum_{k=1}^n t_{\text{ОСЗ}e_{ijk}} \rightarrow \min$
$F_{t5}$	Критерий минимума потерь времени, связанных с занятостью склада	$\sum_{k=1}^n t_{\text{ОСС}e_{ijk}} \rightarrow \min$
$F_{t6}$	Критерий минимума потерь неиспользованного времени работы РЦ	$\sum_{k=1}^n t_{\text{НО}e_{ijk}} \rightarrow \min$
$F_{t7}$	Критерий минимума времени обслуживания заявок ТС	$\sum_{r=1}^R t_{\text{ТPre}_{ijk}} \rightarrow \min$
$F_{t8}$	Критерий минимума обслуживания заявок складом	$\sum_{r=1}^S (t_{\text{С}y_r}^{\Sigma} + t_{\text{С}c_r}^{\Sigma}) \rightarrow \min$



Графический смысл критерия минимизации НЗП

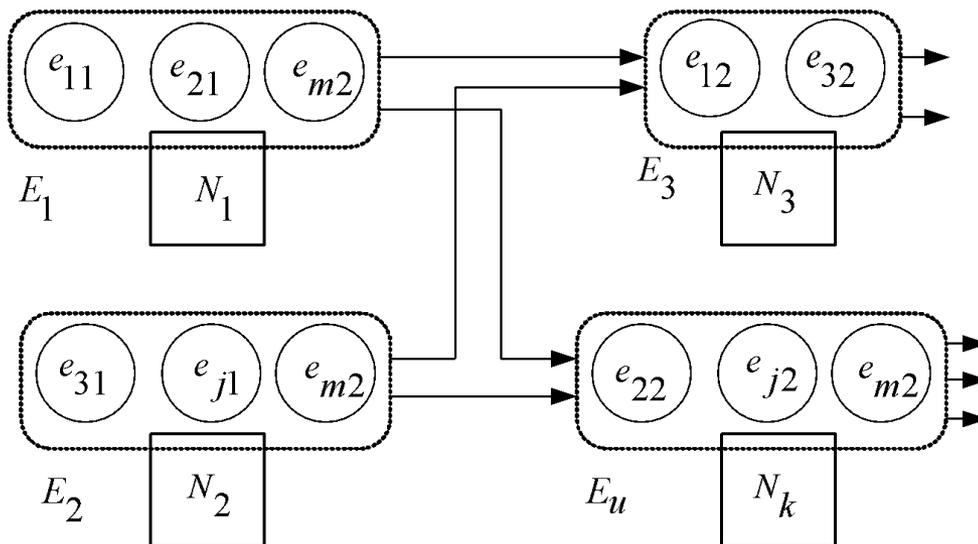
Под НЗП в большинстве случаев понимается объем продукции, который пролеживает в цеху по причине того, что сборка узла, в который входят те или иные ЕП, невозможна вследствие неготовности хотя бы одной ЕП, входящей в данный узел или машину.



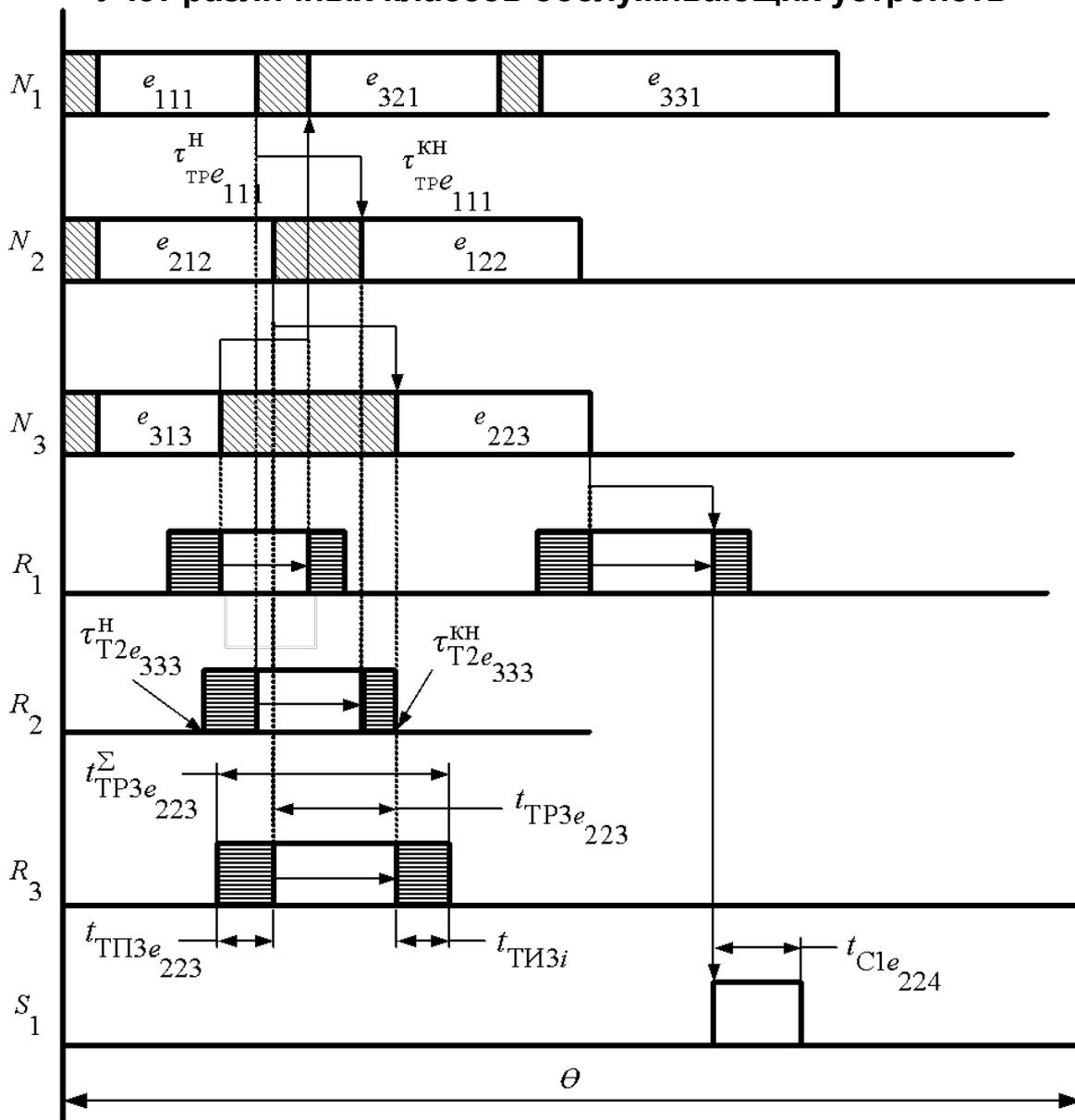
Соотношение машинных времен для видов производств

$$M_e = \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^{p_i} e_{ij}$$

$$m_e = \sum_{i=1}^m p_{ij}$$



Варианты формирования нерегулярных партий запуска



Метод проекций при определении количества ОУ

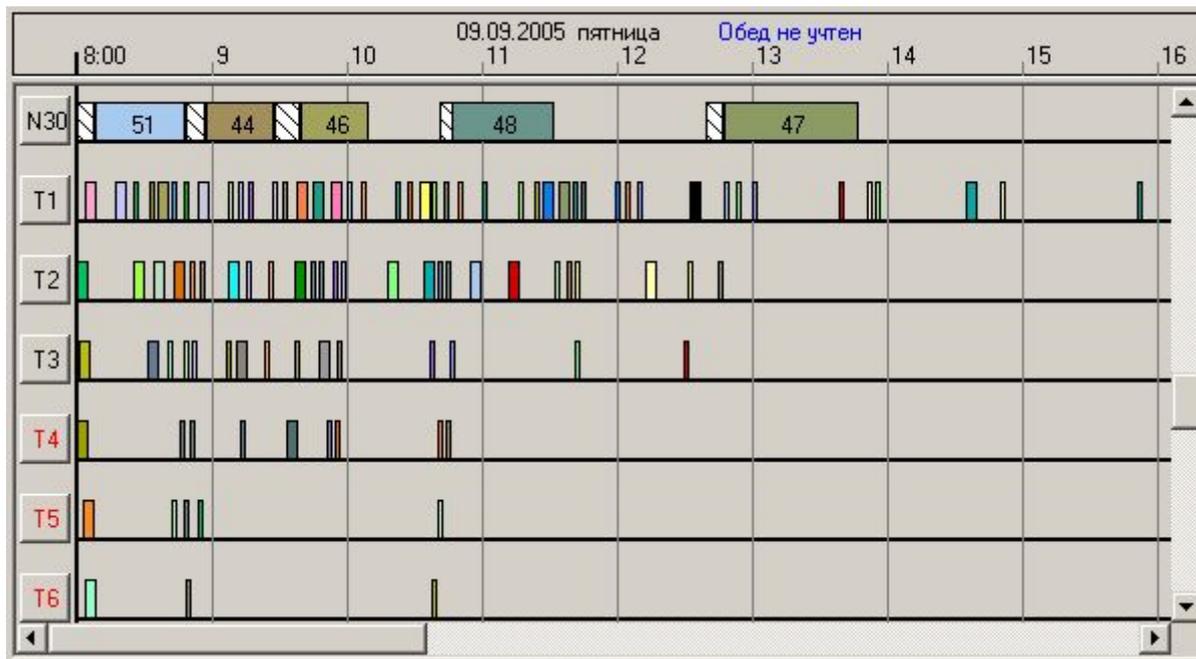


Диаграмма расписания, построенного методом проекций

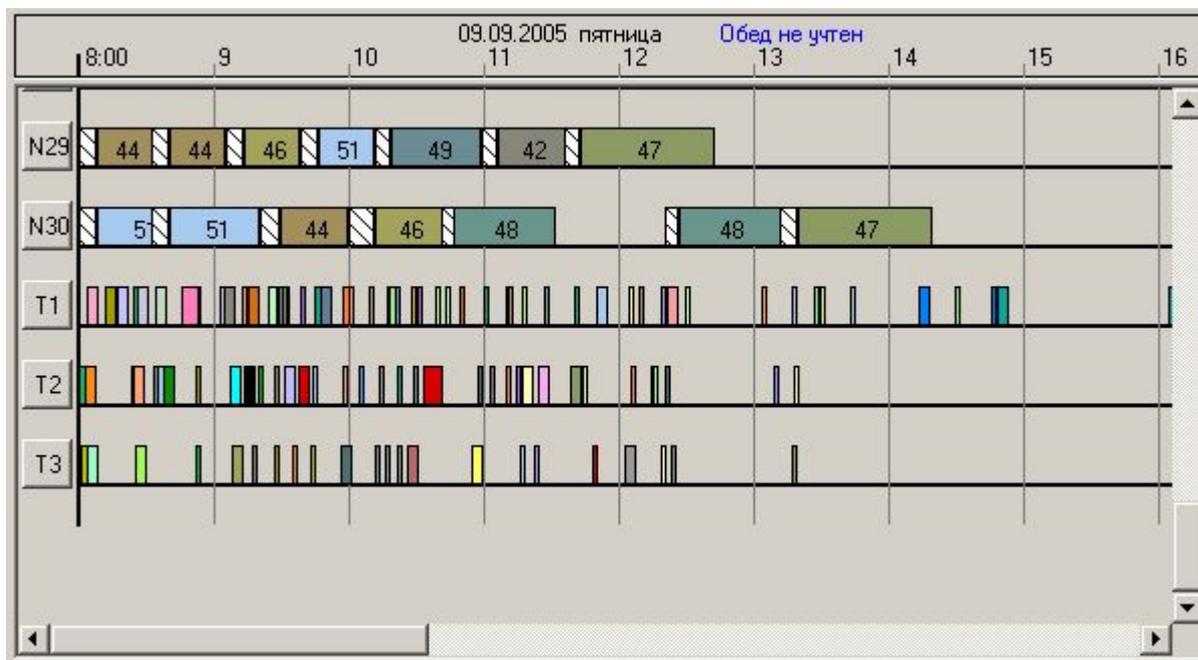
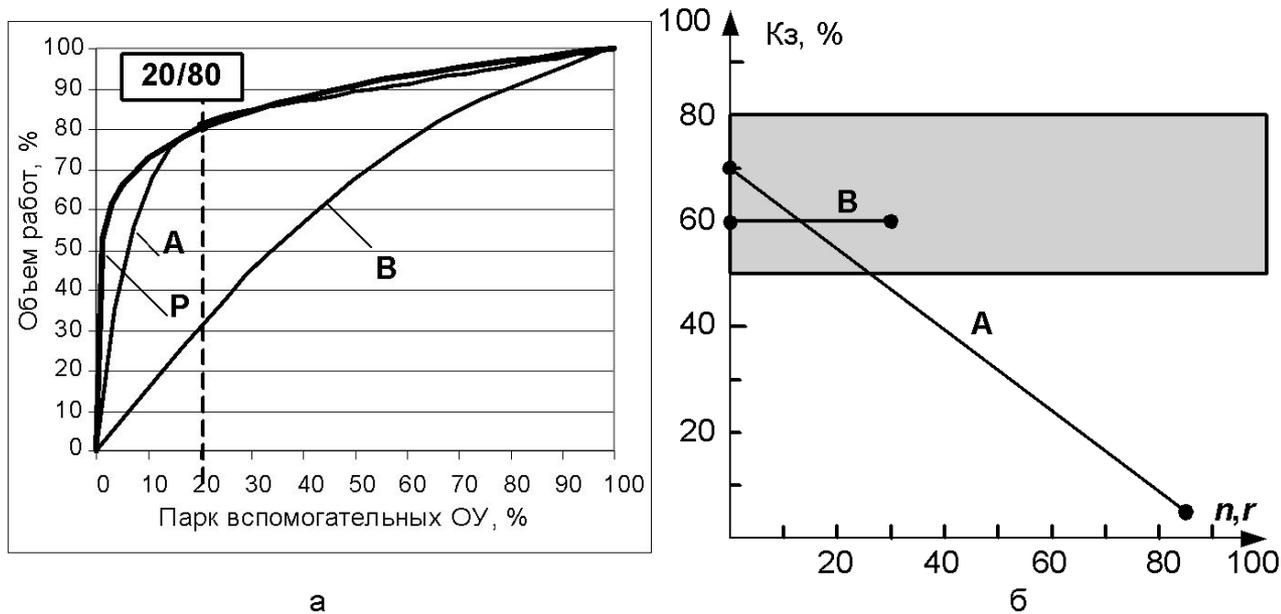
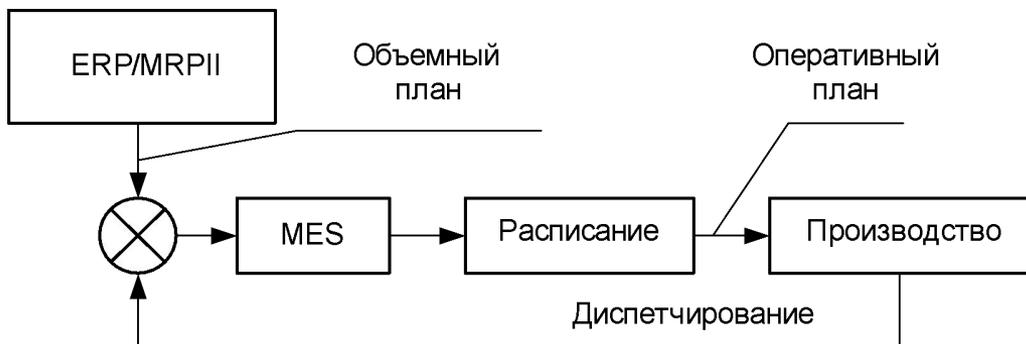


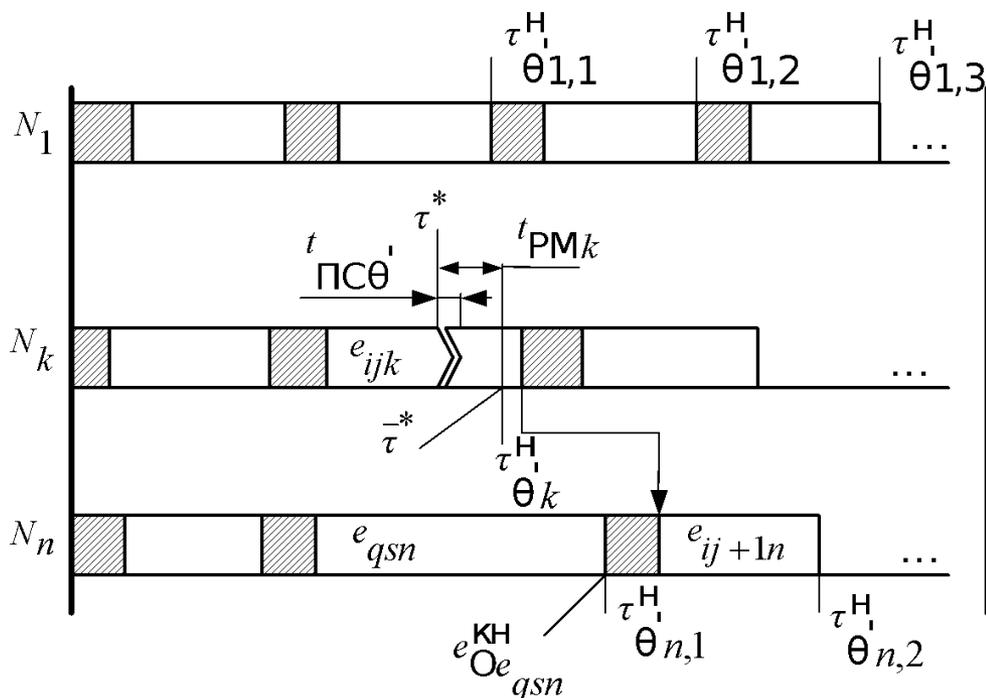
Диаграмма расписания, построенного с учетом ТС  
(комбинаторный метод)



Сравнение методов построения расписаний  
для вспомогательных ОУ: А – существующие методы;  
В – предлагаемая комплексная модель; Р – Парето-распределение



Контур диспетчеризации в производственной системе



Пересчет расписания при отказе ОУ

момент начала нового расписания  
для любого РЦ  $\theta^i$

$$\tau_{\theta^i}^H = \begin{cases} \max\{\tau_{\text{ПСО}}^{\text{KH}}, \bar{\tau}^*\}, r \in N, r = k; \\ \max\{\tau_{\text{Ое}_{qsr}}^{\text{KH}}, \tau_{\text{ПСО}}^{\text{KH}}\}, r \in N, r \neq k, \end{cases}$$

момент начала нового расписания  
для всего множества РЦ

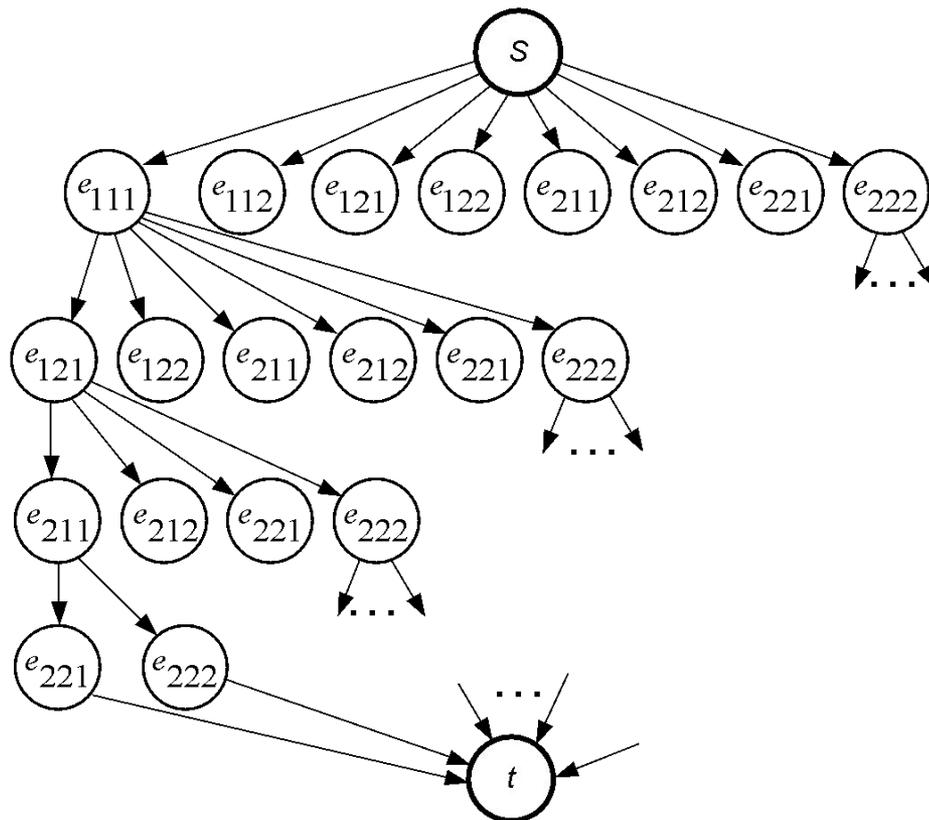
$$\tau_{\theta^i}^H = \min\{\tau_{\theta^i}^H, r = \overline{1, n}\}.$$

$$HF_r = \begin{cases} \{HF_{rl}, l = \overline{0, A_r} \mid \exists \tau_{\theta_{r,l}}^H, a_{\theta_{r,l}}^B = 1, C_{\theta_{r,l}} > 0\} \\ \emptyset \end{cases}$$

## Проблема ПЛАНИРОВАНИЯ

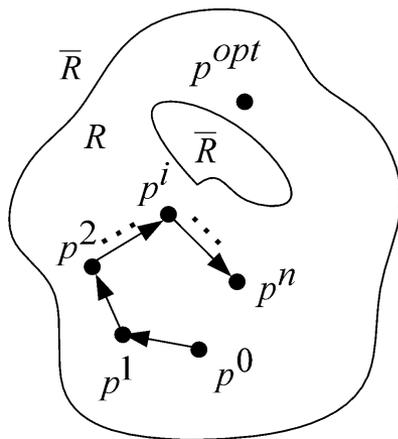
Математическая модель в том случае является эффективной и интересной для практического применения, если она может быть реализована с помощью какого-либо алгоритма за приемлемое время для решения поставленной задачи.

**Пример.** Допустим, что имеется два ОУ и две двухстадийные заявки, т.е. имеем задачу с размерностью  $M\{2\} \times N\{2\}$ . Каждая стадия каждой заявки может быть выполнена на любом ОУ, но с различной производительностью. Для простоты будем считать, что между стадиями каждой работы нет условия предшествования. Тогда любая последовательность из четырех различных работ  $\{e_{11}, e_{12}, e_{21}, e_{22}\}$ , назначенных на любые ОУ, образует расписание. Имеем  $n! = 8! = 40320$  вариантов последовательностей. На рисунке представлен граф поиска.

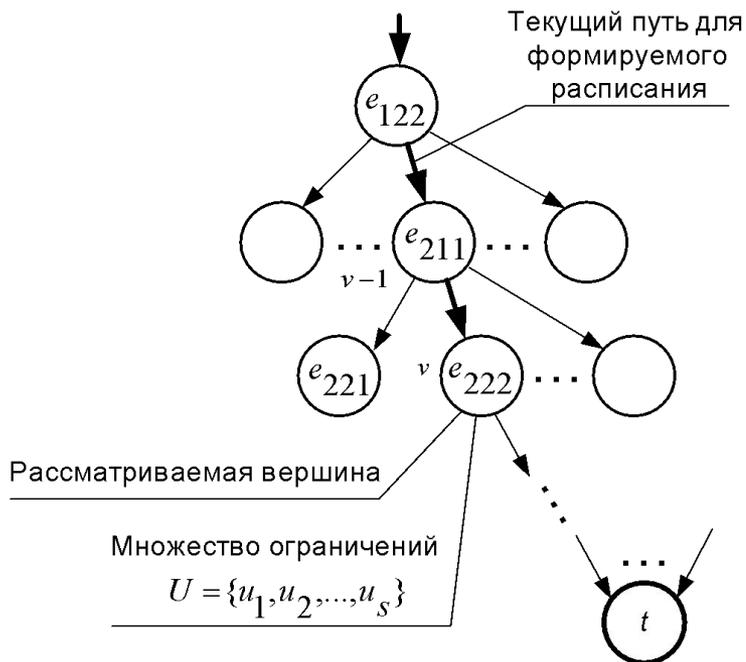


$p^0$  - начальная точка поиска

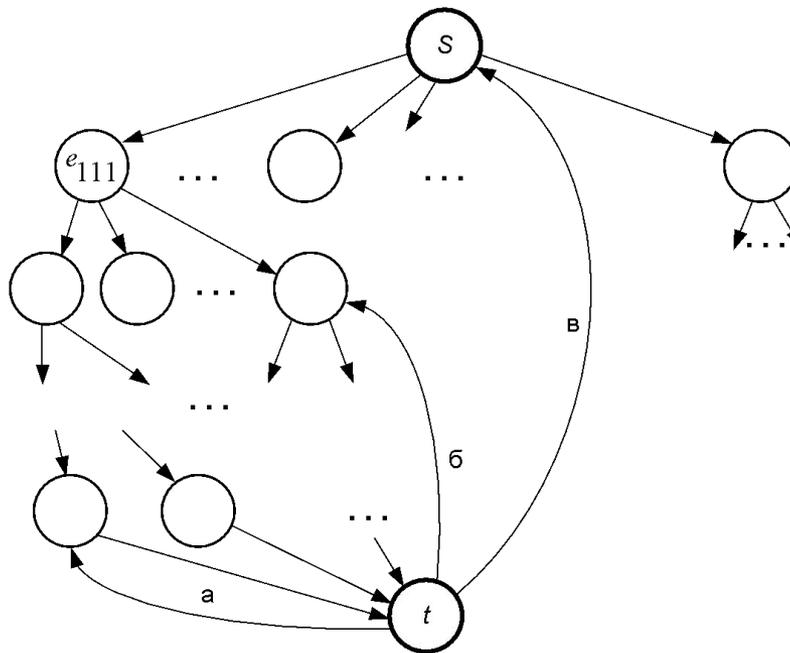
$p^{opt}$  - точка оптимума



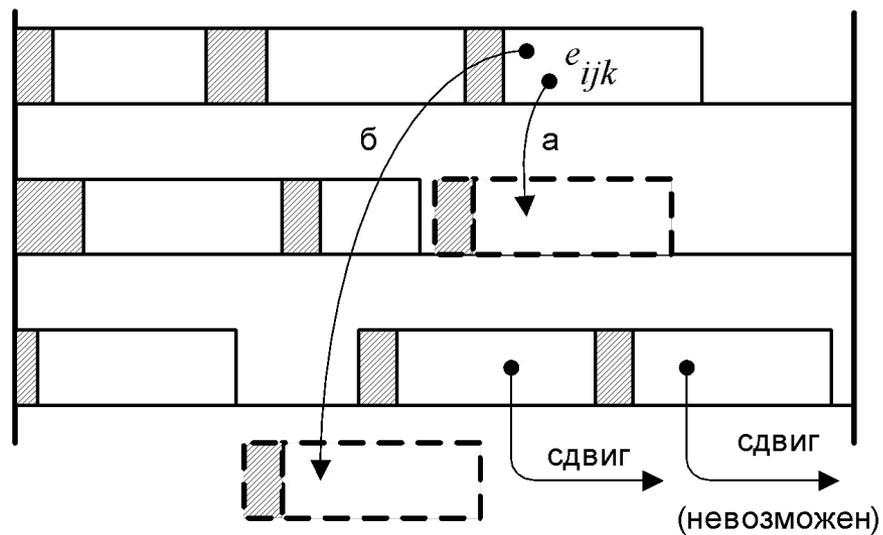
Насколько оптимальны алгоритмы расписаний в системах



Процесс принятия решения на графе поиска



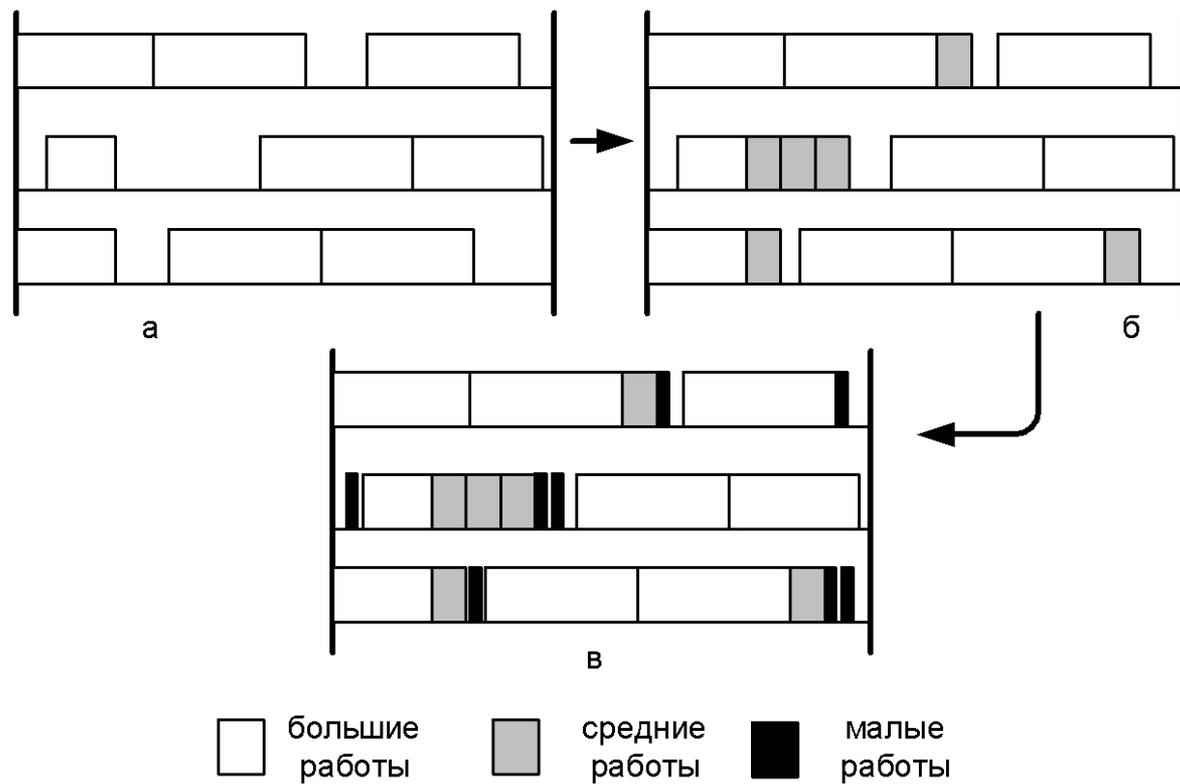
Варианты возврата в процедурах оптимизации



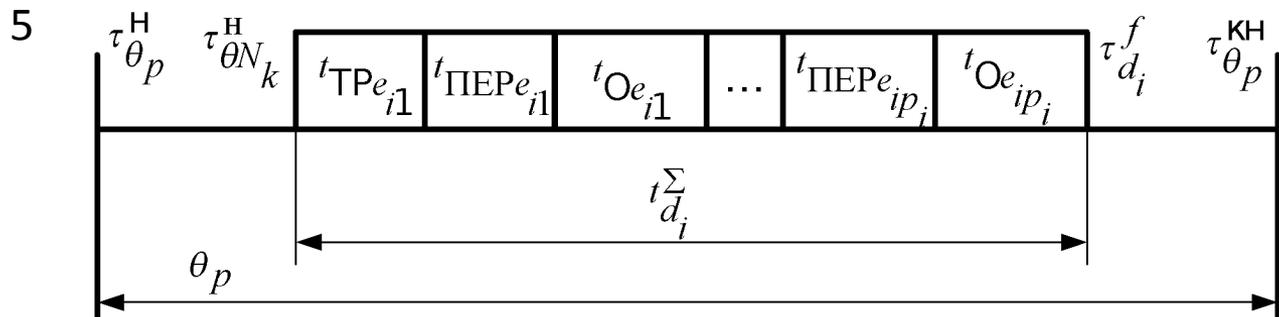
Варианты оптимизации расписаний с переносом работ

Algorithm A1.  
Repeat  
  Sorted ( $E$ )  
  Error = false  
1: For All  $E$  do  
   find  $e_{ij}$  as  $\min(E(t_{Oe_{ijk}}))$   
  For All  $N_k$  ( $k=1, \dots, n$ )  
   If  $(t_{Oe_{ijk}} \neq 0)$  and  $(\text{not}(e_{ijk} \text{ set in } N_k(\Phi_k)))$  then  
     $N_k$  delete from  $N$   
    dec( $n$ )  
  If  $N = \emptyset$  then  
   Error = true  
   break  
2:  $e_{ij} = E[1]$ ;  
  For All  $N_k$  ( $k=1, \dots, n$ )  
   If (for  $e_{ij}$  exists  $k$  from  $N\{N_k(\Phi_k), k=1, n\}$ ) and  
     $(j-1 \rightarrow j \neq \emptyset \text{ for } e_{ij})$  then  
      marked  $k$   
      calculate  $\Phi_k$   
       $e_{ij}$  delete from  $E$   
   Else  
    Error = true  
    break  
Until ( $E = \emptyset$ ) or (Error = true)  
If Error  $\neq$  true then  
  print schedule result  
Else print failure.

**Алгоритмы  
планирования  
без процедур  
принятия  
решения**

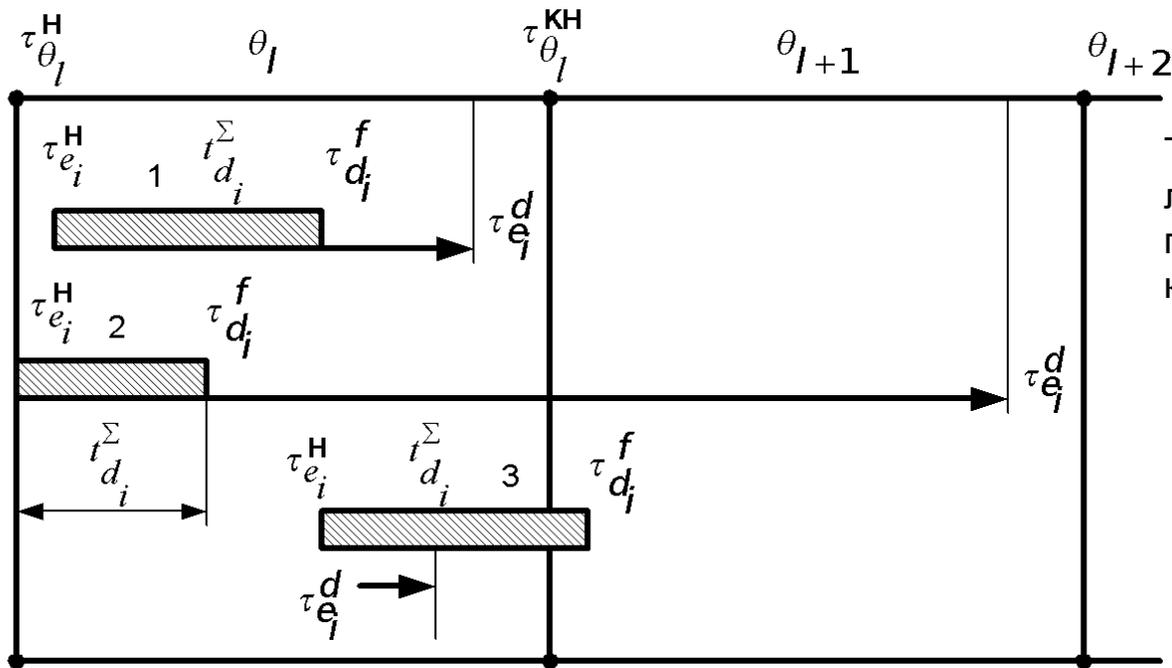


Пример использования эвристических правил  
плотной упаковки



Общая  
длительность  
работ

$\tau_{d_i}^f = \tau_{\theta N_k}^e + t_{\Sigma d_i}^f$  - фактический момент окончания выполнения заказа



Тогда напряженность заказа для любого  $i$ -го изделия можно представить в виде следующего коэффициента:

$$K_{d_i} = t_{\Sigma d_i}^f / (\tau_{e_i}^d - \tau_{e_i}^H)$$

где  $\tau_{e_i}^H$  - момент начала выполнения заказа

- 1 – заказы, имеющие небольшой резерв времени;
- 2 – заказы, имеющие большой резерв времени;
- 3 – заказы, не имеющие резерва времени (просроченные).

Algorithm A2.

Select.Create // definition of criterion as rules select job from  $E$

Repeat

Sorted ( $E$ )

Error = false

Select  $e_{ij}$  from  $E$

For All  $N_k$  ( $k=1, \dots, n$ )

If (for  $e_{ij}$  exists  $k$  from  $N\{N_k(\Phi_k), k=1, n\}$ ) and

( $j-1 \rightarrow j \neq \emptyset$  for  $e_{ij}$ ) then

marked  $k$

calculate  $\Phi_k$

$e_{ij}$  delete from  $E$

Else

Error = true

break

Until ( $E = \emptyset$ ) or (Error = true)

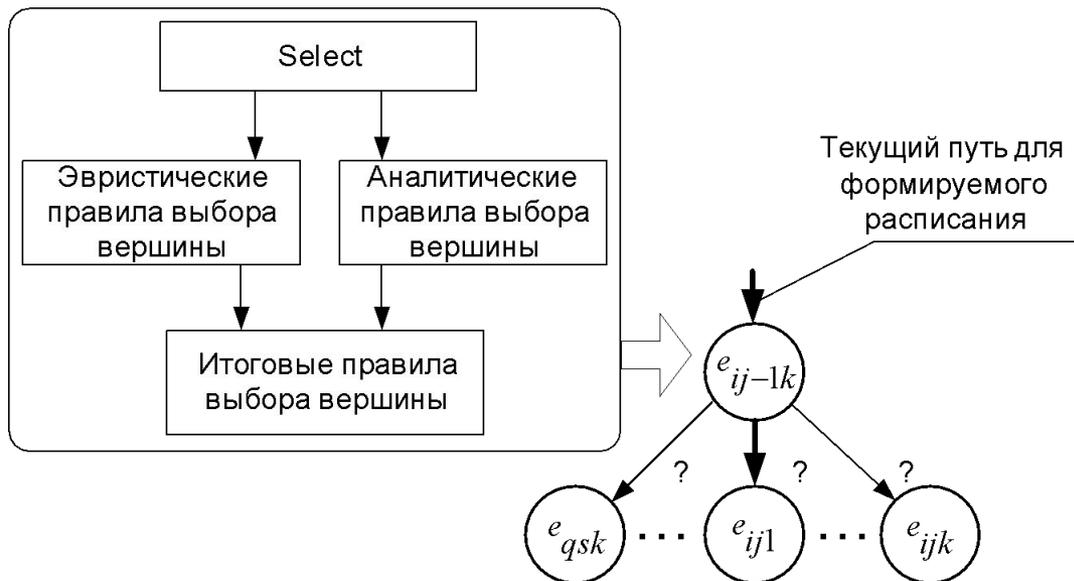
If Error  $\neq$  true then

print schedule result

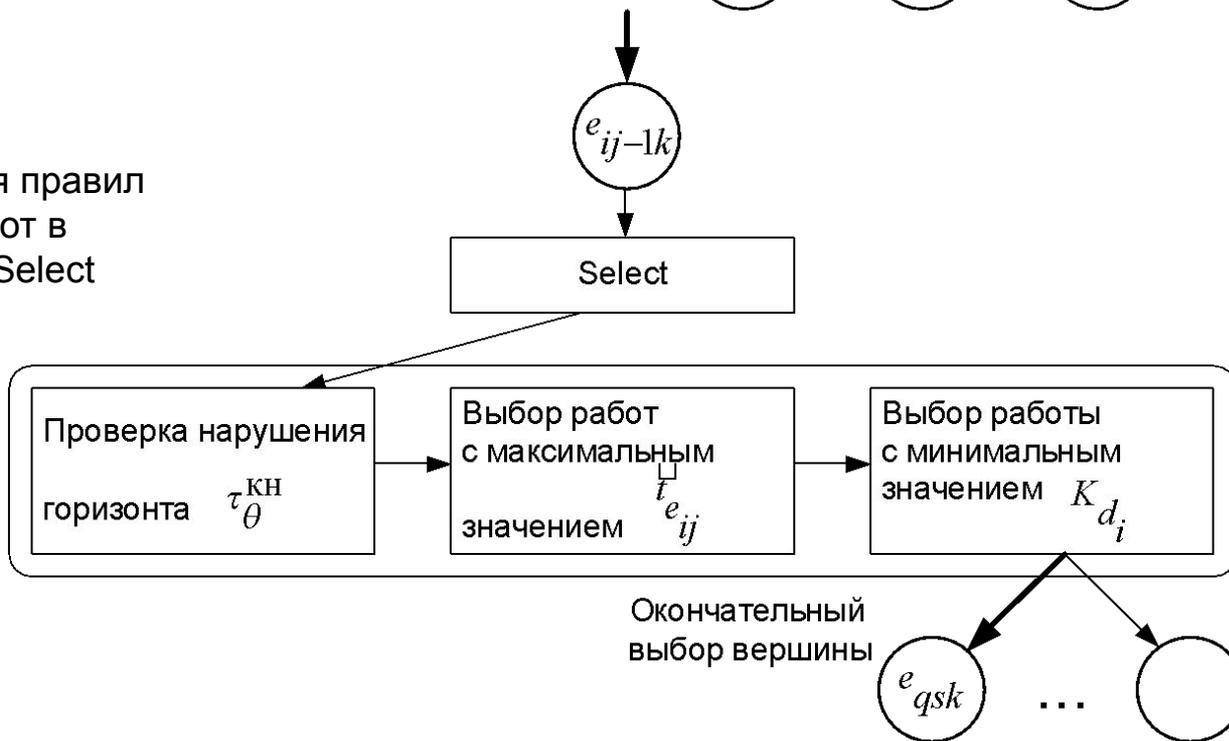
Else print failure.

Тема  
5

Выбор вершины  
ветвления на  
графе поиска



Комбинация правил  
выбора работ в  
процедуре Select



5

Algorithm A3

// minimize or maximize F.

Path = Array[0..n]

F=Array

i=0

Repeat

  Inc(i)

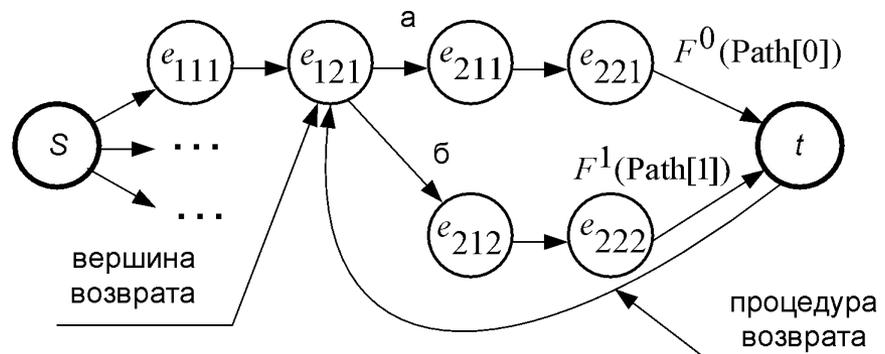
  Algorithm A2(Path[i]) with calculate F[i]

Until (i=n) or (Error = true)

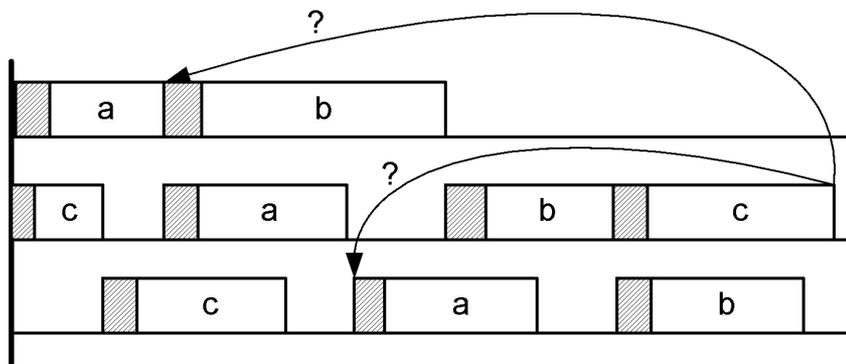
If (Error ≠ true) then

  print schedule result

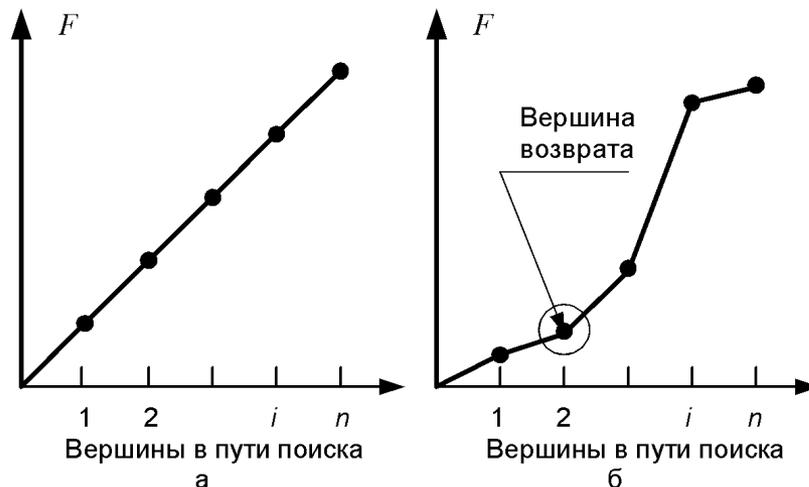
Else print failure.



Последовательности вершин разных вариантов



Анализ диаграммы Ганта при поиске вершины возврата



Изменения значения целевой функции в процессе решения

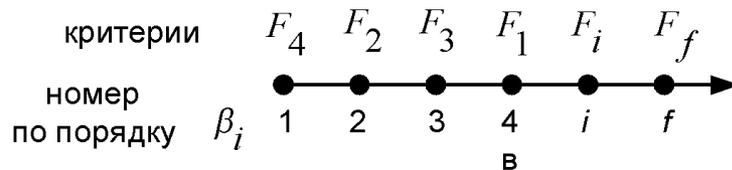
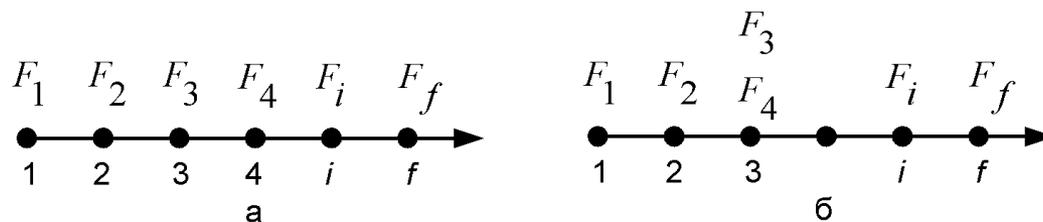
$$F(F_1, F_2, \dots, F_f)$$

**Методы оптимизации с помощью весовых коэффициентов**

$$F = (\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \dots + \alpha_f F_f) \rightarrow \max$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_f = 1$$

Безразмерная величина критерия: 
$$F_i(\%) = \frac{F_i - F_{i \min}}{F_{i \max} - F_{i \min}} \cdot 100$$



Пример ранжирования критериев

$$B = \left\{ \begin{array}{l} \beta_i > \beta_j \\ \beta_i = \beta_j \end{array} \right\}; \beta_i \in F_i; i, j \in [\overline{1, f}]$$

### Метод целочисленного ранжирования оценок предпочтения

необходимо выстроить все частные критерии из вектора

$$F = (F_1, F_2, \dots, F_f)$$

по принципу перечисления и каждый частный критерий будет иметь какую-либо целочисленную оценку, равную значимости в силу отношений  $\beta_i > \beta_j$

При этом какая-либо минимальная оценка  $x_i$  соответствует критерию с минимальной значимостью и некоторые критерии могут иметь равные оценки в случае равенства их значимости в векторе.

$$W = \sum_{i=1}^f x_i \rightarrow \min;$$

$$\begin{cases} x_i - x_j \geq 1, & \beta_i > \beta_j; i, j \in [\overline{1, f}]; \\ x_i - x_j = 0, & \beta_i = \beta_j; i, j \in [\overline{1, f}]; \end{cases}$$

$$x_i \geq 1; i = [\overline{1, f}].$$

Далее вычисляем коэффициенты:

$$\alpha_i = \frac{x_i}{\sum_{j=1}^f x_j}$$

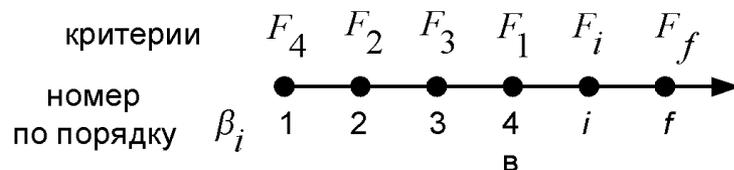
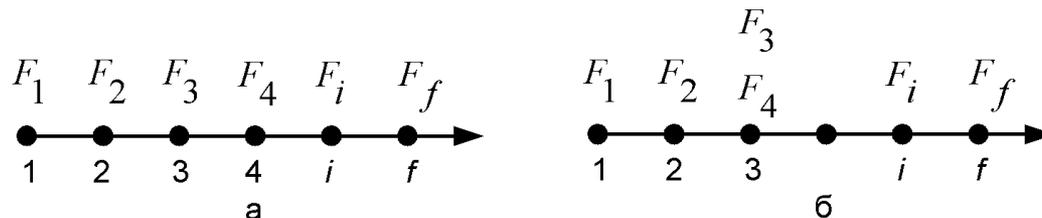
Решение задачи с помощью пакета символьной математики Maple дает следующий результат:

```
> restart;  
> with(Optimization) :  
> MyCon:={x[4]-x[3]>=1, x[4]-x[2]>=1, x[4]-x[1]>=1, x[3]-x[2]>=1,  
x[3]-x[1]>=1, x[2]-x[1]>=1, x[4]>=1, x[3]>=1, x[2]>=1, x[1]>=1} :  
> MyF:=x[1]+x[2]+x[3]+x[4] ;  
> LPSolve(MyF,MyCon, assume={nonnegative, integer});
```

$[10, [x_1 = 1, x_2 = 2, x_3 = 3, x_4 = 4]]$

При этом результате значения коэффициентов определяются как:

$$\alpha_1 = \frac{1}{10}; \alpha_2 = \frac{2}{10}; \alpha_3 = \frac{3}{10}; \alpha_4 = \frac{4}{10}$$



$x_4 - x_3 \geq 1$	$x_4 - x_3 = 0$	$x_4 - x_3 \geq 1$	$x_4 - x_3 \geq 1$
$x_4 - x_2 \geq 1$			
$x_4 - x_1 \geq 1$			
$x_3 - x_2 \geq 1$	$x_3 - x_2 \geq 1$	$x_2 - x_3 \geq 1$	$x_2 - x_3 \geq 1$
$x_3 - x_1 \geq 1$	$x_3 - x_1 \geq 1$	$x_2 - x_1 \geq 1$	<b><math>x_1 - x_2 \geq 1</math></b>
$x_2 - x_1 \geq 1$	$x_2 - x_1 \geq 1$	$x_3 - x_1 \geq 1$	$x_3 - x_1 \geq 1$

Вариант а

Вариант б

Вариант в

Неверный вариант

**Алгоритм определения совместности линейных алгебраических неравенств.**

Шаг 1. Положим множество  $A$  как множество частных критериев, упорядоченное по их номерам –  $A = \{F_1, F_2, \dots, F_f\}$ . Напишем для них систему неравенств. Положим множество  $B$  как пустое –  $B = \{\emptyset\}$ . Введем флаг ошибки  $Error := false$ .

Шаг 2. Выберем из множества  $A$  первый критерий, например,  $F_1$  и положим его во множество  $B$  с номером  $\beta = 1$ . Из множества  $A$  этот критерий удалим.

Шаг 3. Выберем из множества  $A$  следующий  $i+1$ -й критерий по порядку и припишем ему временный номер  $\beta' = 0$ .

Шаг 4. Составим множество неравенств  $C$ , необходимых для анализа положения текущего критерия во множестве  $B$ . При этом если в каком-либо неравенстве данный номер критерия отсутствует (например, нет переменной  $x_{i+1}$ , если мы рассматриваем критерий  $F_{i+1}$ ), то пропускаем это неравенство. Пропускаем также те неравенства, где номер нашего критерия присутствует, но в этом неравенстве нет критерия из множества  $B$ . Если есть неравенство, содержащее номер текущего анализируемого критерия и в этом неравенстве есть критерий из множества  $B$ , то включаем это неравенство во множество  $C$ .

Шаг 5. Если множество  $C$  содержит более одного неравенства, то переходим на шаг 6. В противном случае определяем местоположение рассматриваемого критерия во множестве  $B$  по следующему правилу:

$$\begin{cases} \beta(x_{i+1}) = \beta(x_j), \beta(x_j) = \beta(x_{i+1}) + 1, & \text{если } x_{i+1} - x_j \geq 1 \\ \beta(x_{i+1}) = \beta(x_j) + 1, & \text{если } x_j - x_{i+1} \geq 1 \\ \beta(x_{i+1}) = \beta(x_j), & \text{если } x_j - x_{i+1} = 0 \text{ или } x_{i+1} - x_j = 0 \end{cases}, \quad (5.24)$$

где  $x_j$  – переменная в неравенстве, сравниваемая с текущей  $x_{i+1}$ .

Текущий критерий  $F_{i+1}$  вносится во множество  $B$  с номером  $\beta(x_{i+1})$  и удаляется из множества  $A$ . При этом все номера остальных критериев во множестве  $B$  изменяются в соответствии с тем, что был введен еще один критерий, например, если новый критерий во множестве  $B$ , в котором ранее было три элемента, стал вторым по списку, то порядковые номера элементов этого множества, начиная с третьего, увеличатся на единицу. Если номера критериев совпадают (случай  $x_j = x_{i+1}$ ), например  $\beta(x_{i+1}) = \beta(x_j) = 3$ , то они занимают две соседние позиции во множестве  $B$ , начиная с номера 3 (позиции 3 и 4).

Если множество  $A$  – пустое, то система совместна и нам следует перейти на шаг 7 со значением флага  $\text{Error} := \text{false}$ . Если множество  $A$  – не пустое, то переход на шаг 3.

Шаг 6. По порядку рассматриваем нашу систему неравенств во множестве  $C$  согласно правилу (5.24). При этом если мы для какого-либо неравенства из  $C$  нашли очередное значение  $\beta(x_{i+1})$  и это значение для  $x_{i+1}$  ранее для любого из неравенств множества  $C$  не было равно нулю, то это вновь найденное значение  $\beta(x_{i+1})$  должно быть больше или равно предыдущему ненулевому значению  $\beta(x_{i+1})$ , т.е. значение  $\beta(x_{i+1})$  не должно убывать, так как множество  $B$ , как только в нем появятся первые два элемента, является упорядоченным. В противном случае система несовместна и нам следует прекратить вычисления с флагом  $\text{Error} := \text{true}$  и перейти на шаг 7.

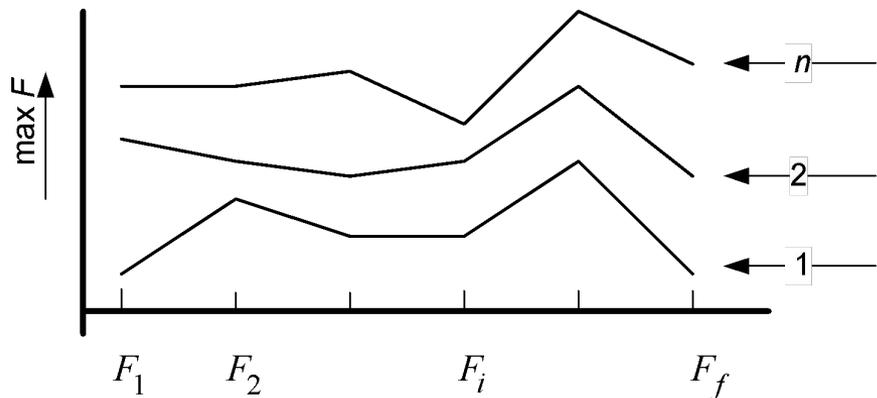
Если для всего множества  $C$  при анализе каждого неравенства значения  $\beta(x_{i+1})$  не убывают, то на данный момент система совместна, необходимо, как и на шаге 5, внести рассматриваемый критерий во множество  $B$ , удалить его из множества  $A$ , флагу присвоить значение  $\text{Error} := \text{false}$ .

Если множество  $A$  пустое, то необходимо перейти на шаг 7, если не пустое, то на шаг 3.

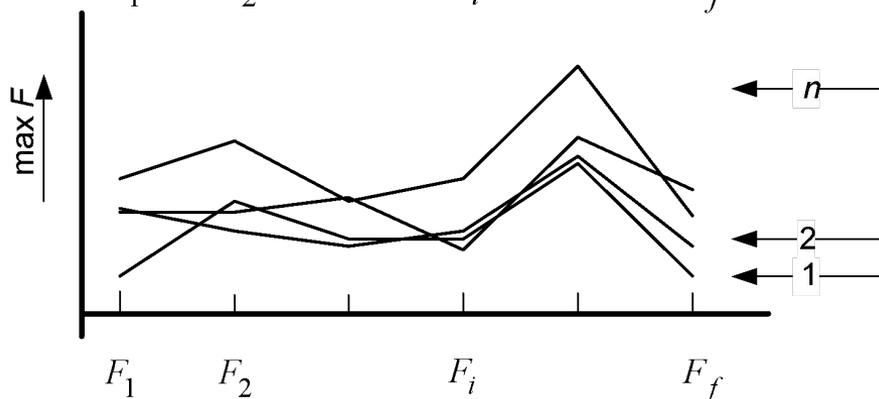
Шаг 7. Если флаг  $\text{Error}$  имеет значение  $\text{false}$ , то система совместна и можно решать задачу (5.18 – 5.20). Если флаг  $\text{Error}$  имеет значение  $\text{true}$ , то система несовместна и необходимо обратить внимание на анализируемую пару  $x_j, x_{i+1}$  с целью переопределения неравенств как отношения критериев.

Конец работы алгоритма.

$F_i (i = 1, f)$



Оптимум векторного критерия для идеального случая



Область компромиссов для частных критериев

По определению, оптимальным па Парето называется такой вектор, для которого хотя бы по одному  $k$ -му критерию выполняется строгое неравенство

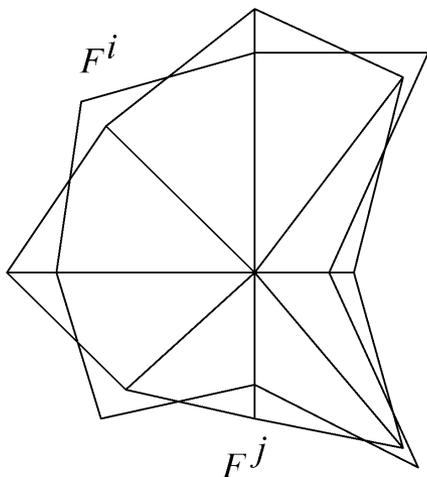
$$F_k^i > F_k^j (j = 1, n)$$

и по остальным критериям могут быть справедливы нестрогие неравенства типа

$$F_k^i \geq F_k^j (j = 1, n)$$

$$\sum_{k=1}^f \alpha_k F_k^i \geq \sum_{k=1}^f \alpha_k F_k^j, j=1, n$$

$$F^i(opt) = \sum_{k=1}^f (F_k^{max} / F_k^{min}) \rightarrow \max$$



Вариант графического представления области компромисса

<input checked="" type="radio"/> Критерий A1	<input type="radio"/> Критерий B1
<input type="radio"/> Критерий A2	<input checked="" type="radio"/> Критерий B2
<input type="radio"/> Критерий A3	<input type="radio"/> Критерий B3

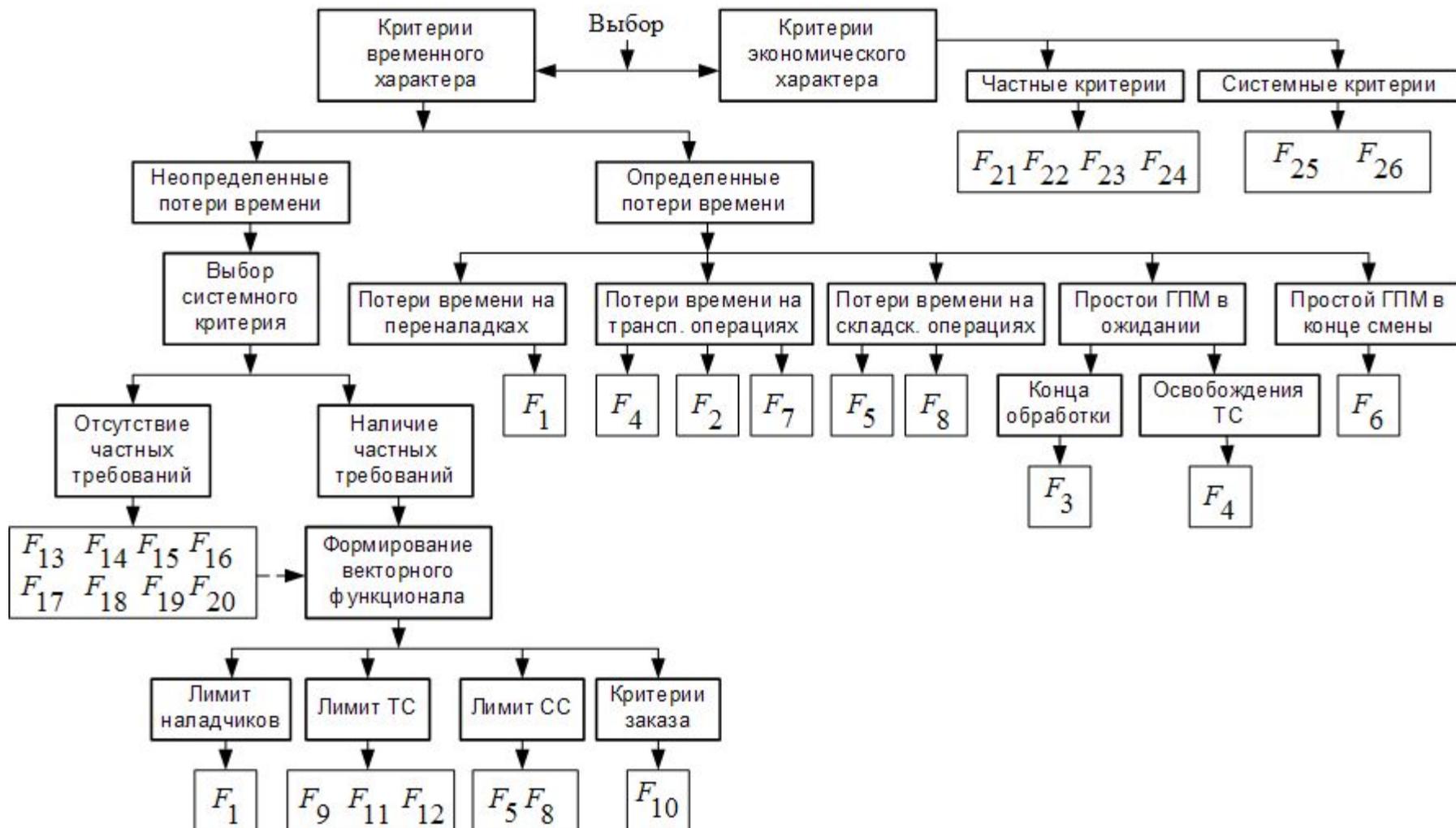
<input type="radio"/> Критерий C1
<input type="radio"/> Критерий C2
<input checked="" type="radio"/> Критерий C3

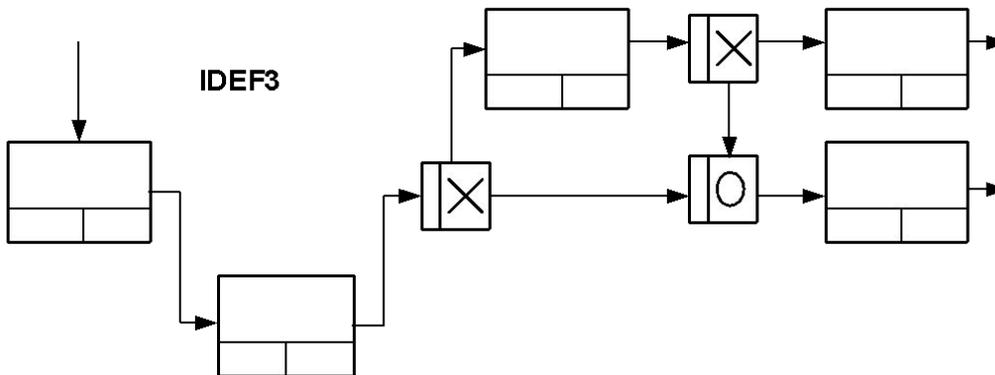
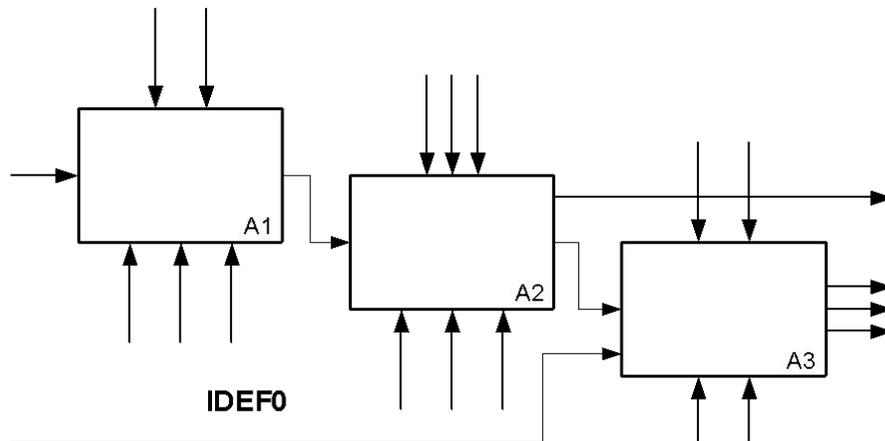
Типовой вариант настройки задачи выбора решения

Тема  
5

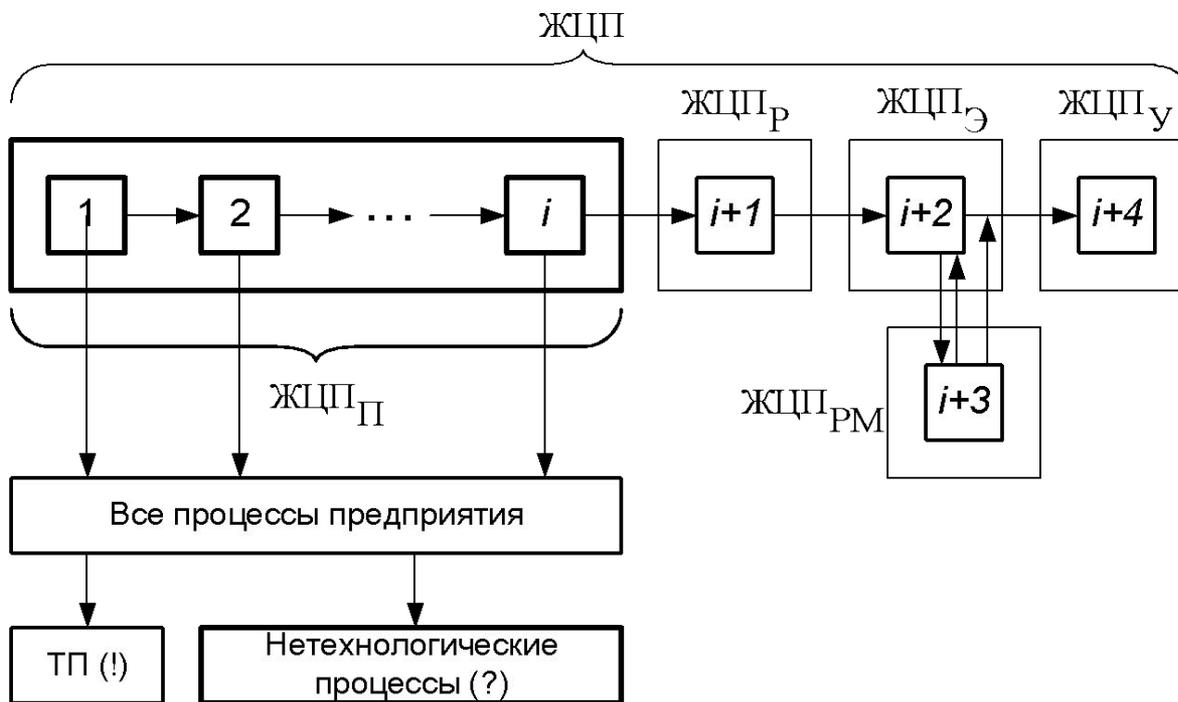
Матрица  
совместимости  
критериев

	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F_8$	$F_9$	$F_{10}$	$F_{11}$	$F_{12}$	$F_{13}$	$F_{14}$	$F_{15}$	$F_{16}$	$F_{17}$	$F_{18}$	$F_{19}$	$F_{20}$
$F_1$	-																			
$F_2$	1	-																		
$F_3$	1	1	-																	
$F_4$	1	1	1	-																
$F_5$	1	1	1	1	-															
$F_6$	1	0	0	1	0	-														
$F_7$	1	1	1	1	1	1	-													
$F_8$	1	1	1	1	0	1	1	-												
$F_9$	1	1	1	1	1	0	0	1	-											
$F_{10}$	0	1	0	1	1	0	1	1	0	-										
$F_{11}$	1	0	-1	-1	1	1	1	1	1	0	-									
$F_{12}$	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	-								
$F_{13}$	0	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-							
$F_{14}$	1	1	0	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-						
$F_{15}$	0	0	0	0	0	0	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0	-					
$F_{16}$	0	0	0	0	0	0	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0	-1	-				
$F_{17}$	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0	1	1	-			
$F_{18}$	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0	-		
$F_{19}$	0	0	0	0	0	0	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0	-1	-1	0	-1	-	
$F_{20}$	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0	-1	-1	0	-1	0	-

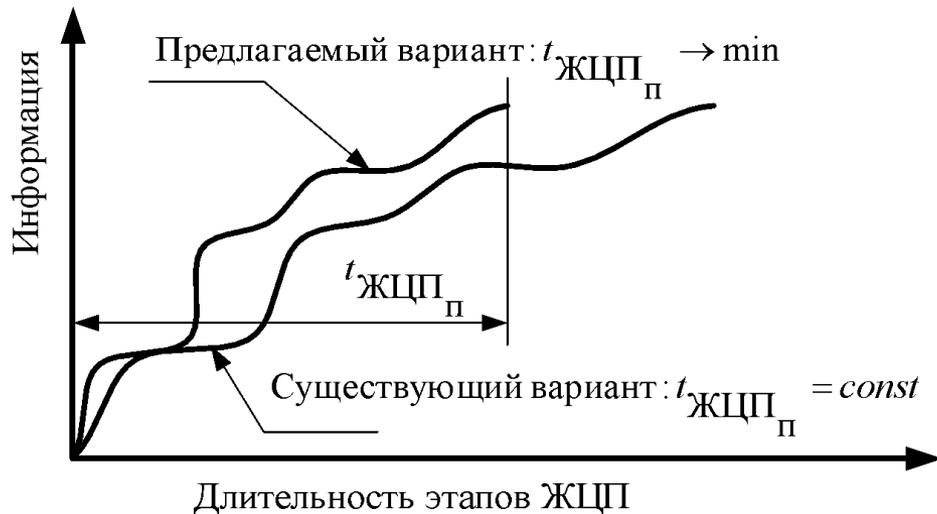




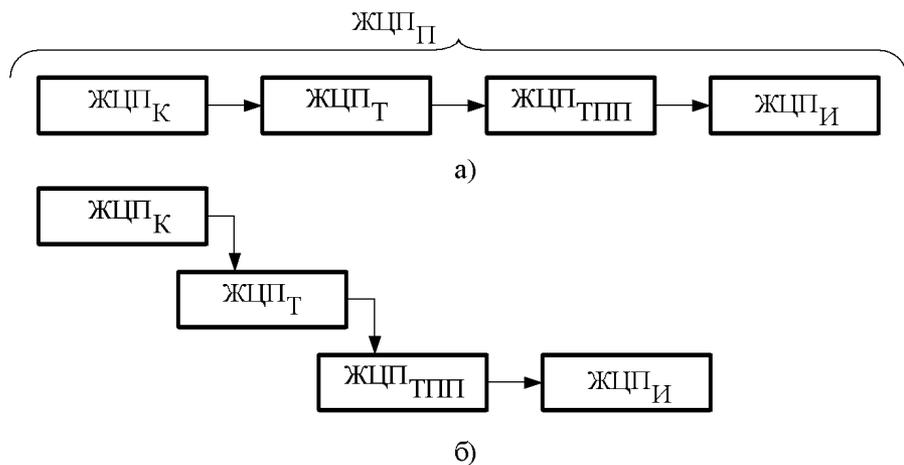
Описание процессов в нотациях IDEF0  
и IDEF3



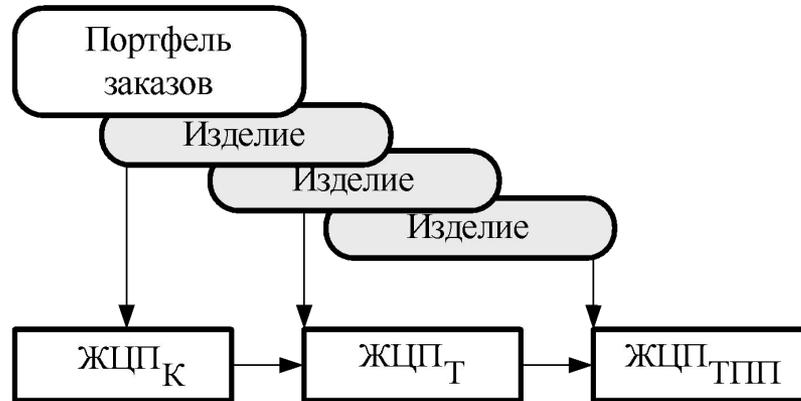
Состав процессов, требуемых для определения



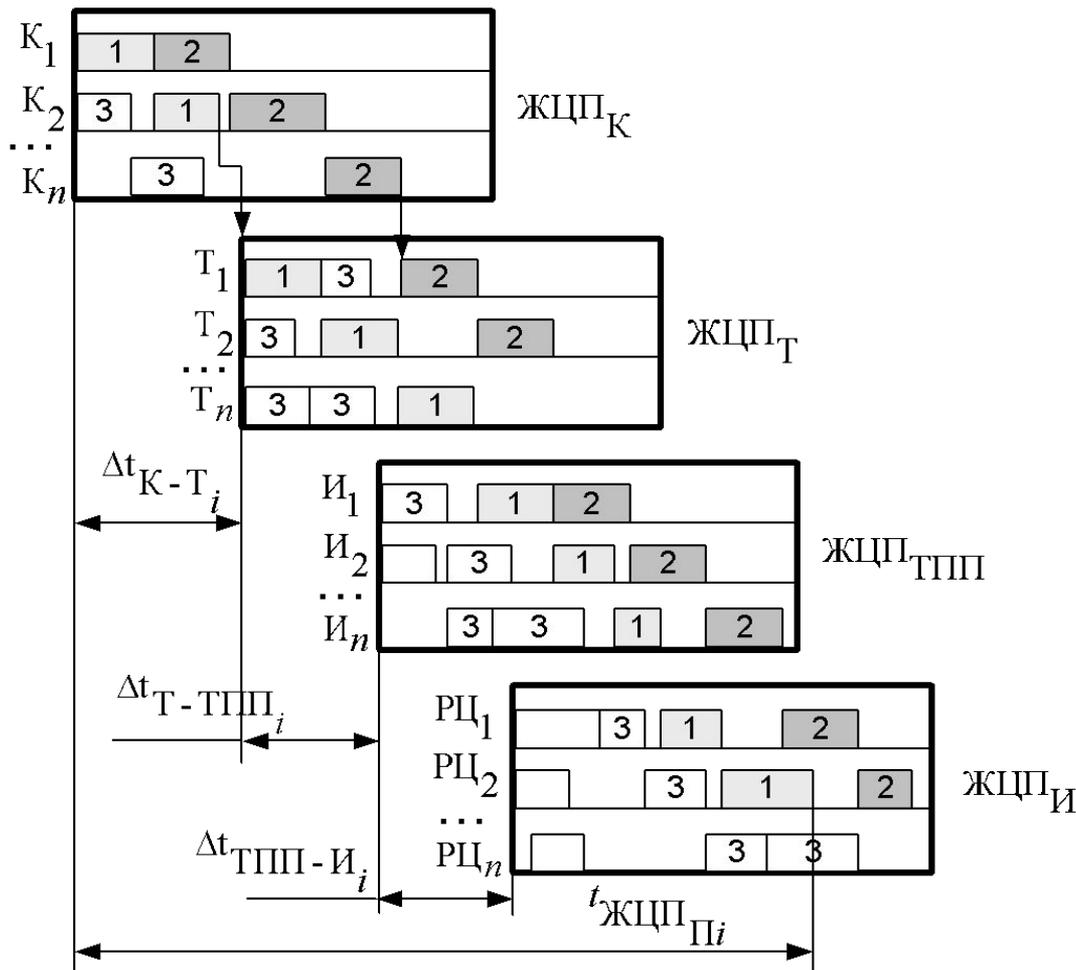
Идея сокращения этапов ЖЦП  
на предприятии



Варианты выполнения этапов ЖЦП<sub>II</sub>  
во времени



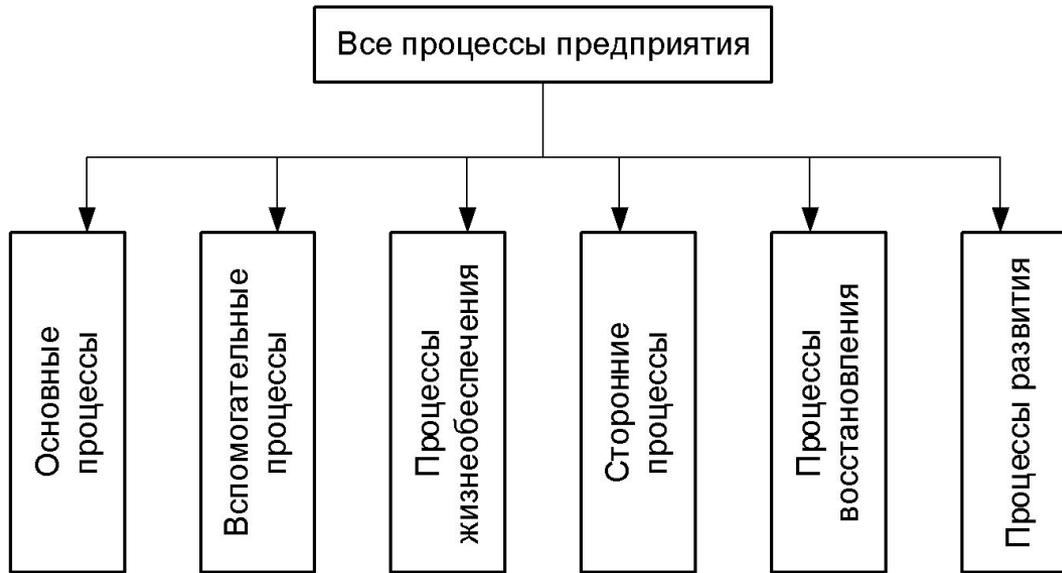
Различные точки входа заказов в  
процессы жизненного цикла  
на предприятии



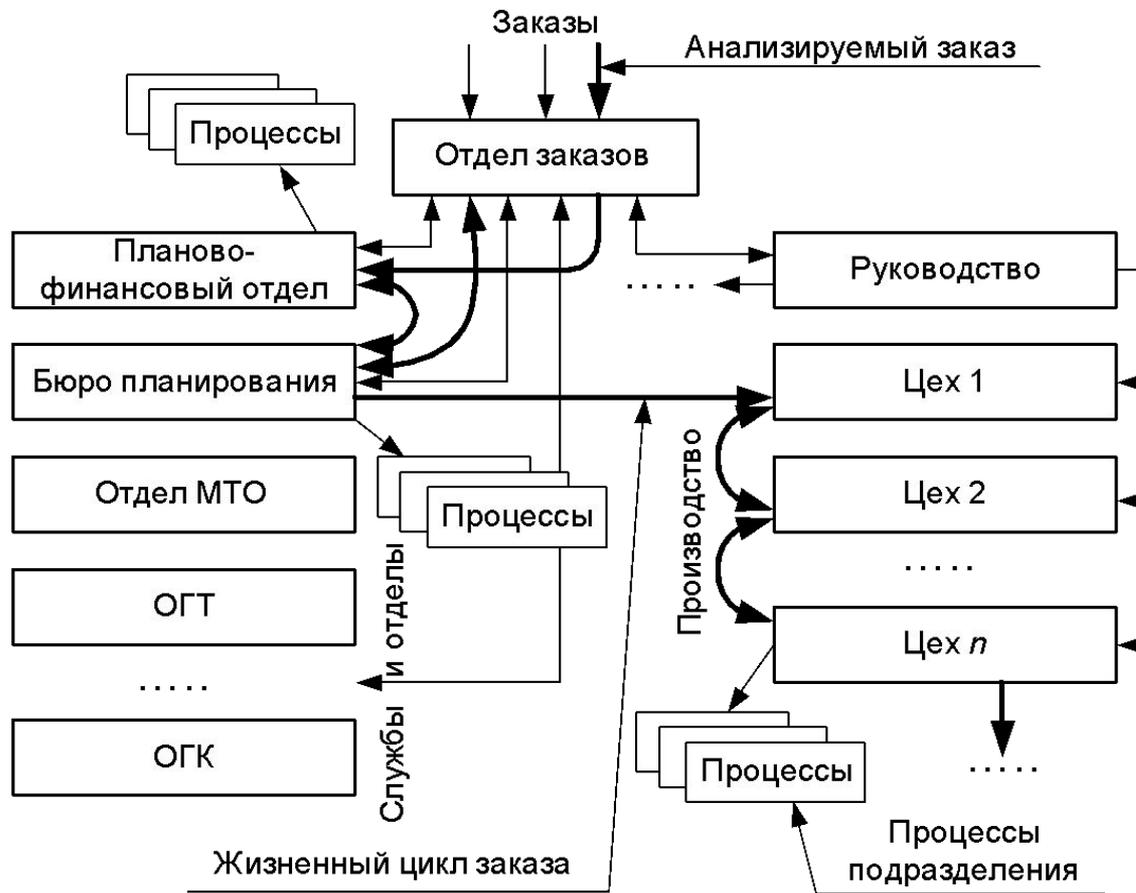
Взаимосвязь расписаний работы различных этапов  
ЖЦП<sub>п</sub>

Все множество  
операций по каждой  
единице продукции

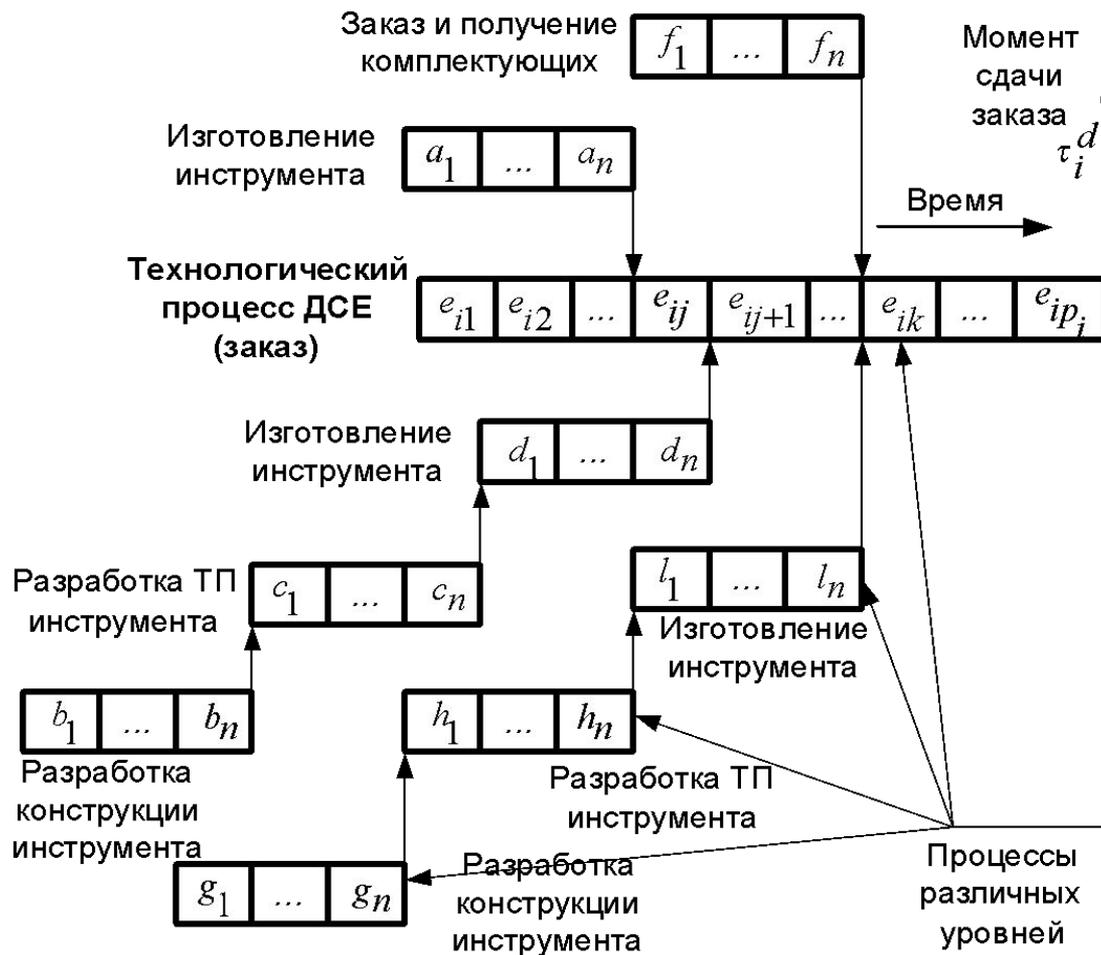
$$M_{e_{i\Pi}} = \prod_{j=1}^{p_K} e_{ij_K} \prod_{j=1}^{p_T} e_{ij_T} \prod_{j=1}^{p_{ТПП}} e_{ij_{ТПП}} \prod_{j=1}^{p_{И}} e_{ij_{И}}$$



Базовая классификация процессов



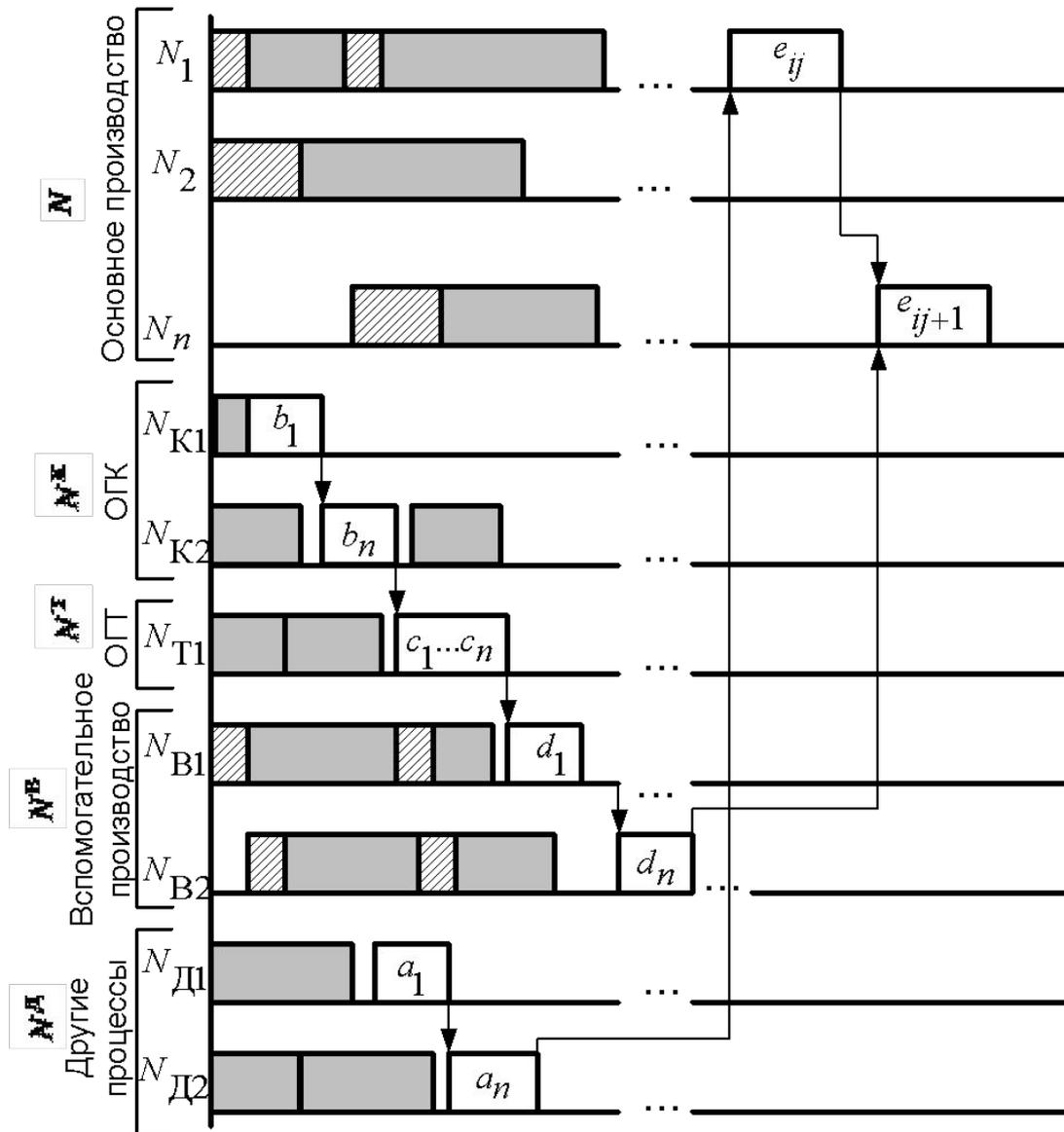
Анализ жизненного цикла заказа



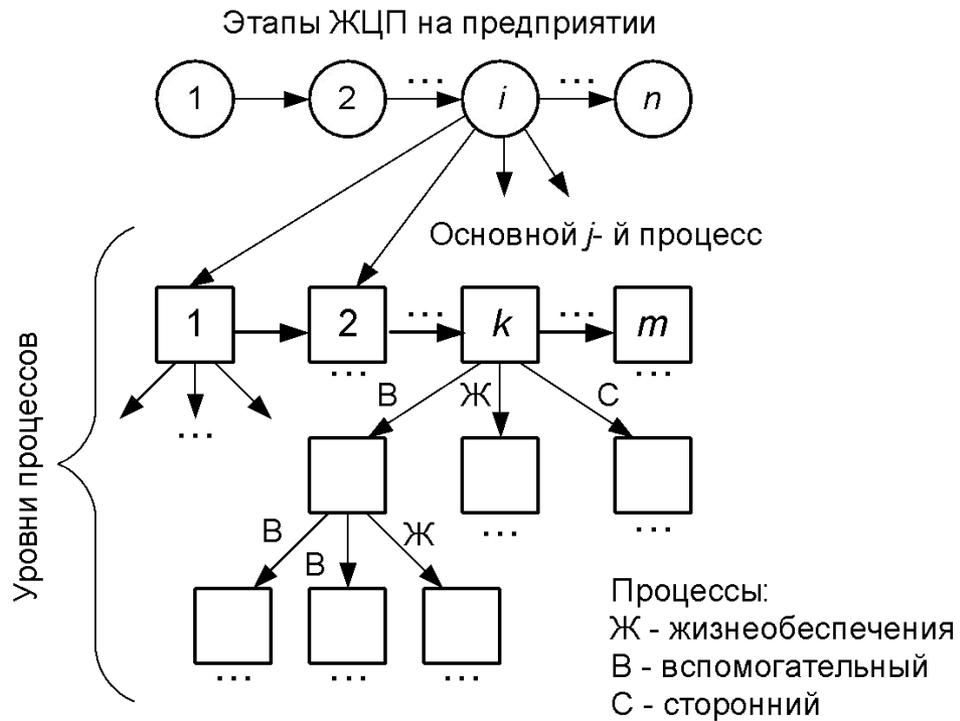
Процесс комплектации ДСЕ

$$M^\Sigma = M \square M^K \square M^T \square M^D \square M^B$$

$$N^\Sigma = N \square N^K \square N^T \square N^D \square N^B$$



Общая диаграмма Гантта для планирования процессов предприятия



Иерархия порождаемых процессов различной вложенности



Если выполнимость операции:

$$V(e_{ij}) = \begin{cases} 1, & \sum_{r=1}^{p_r} V(e_{ijr}) = p_r \\ 0, & \sum_{r=1}^{p_r} V(e_{ijr}) < p_r \end{cases}$$

Тогда выполнимость  $i$ -й детали  $V(d_i)$

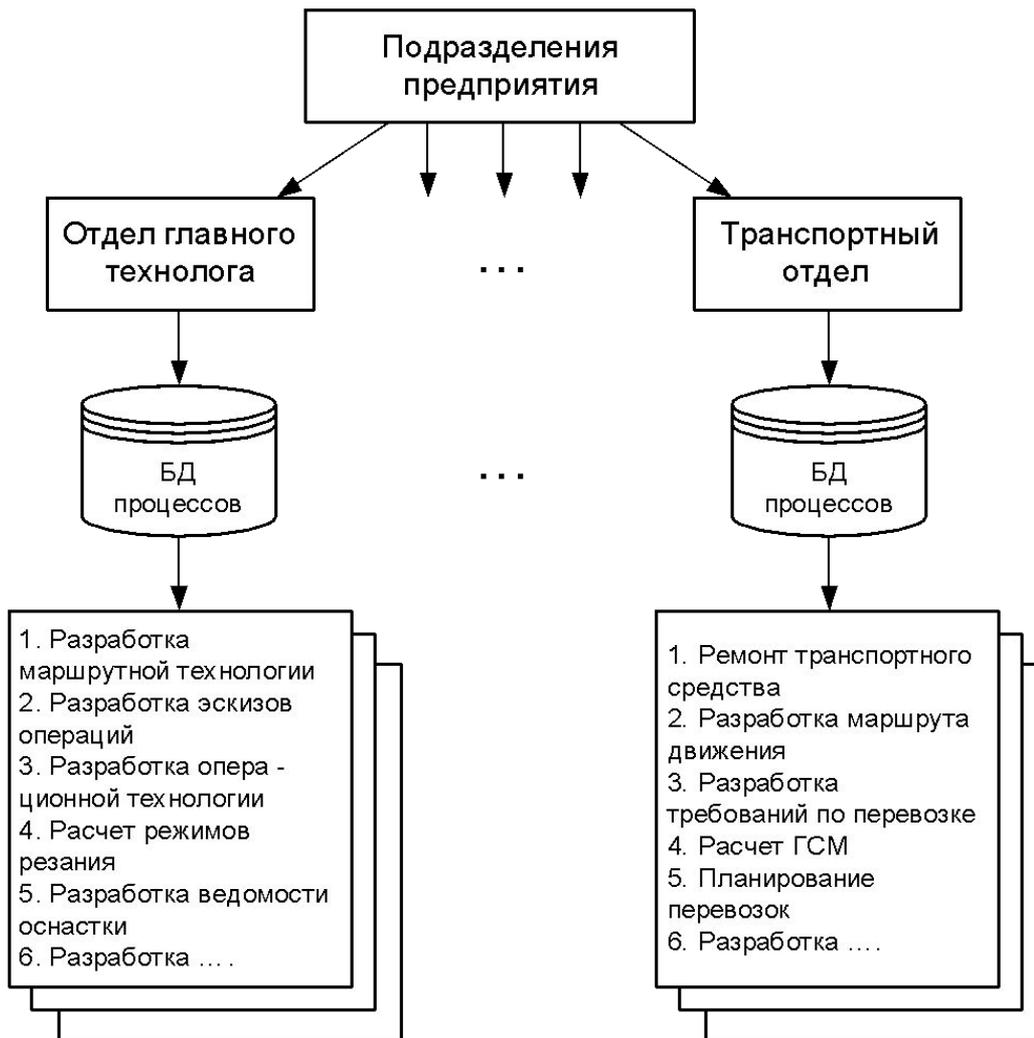
$$V(d_i) = \begin{cases} 1, & \sum_{j=1}^{p_i} V(e_{ij}) = p_i \\ 0, & \sum_{j=1}^{p_i} V(e_{ij}) < p_i \end{cases}$$

Если для какой-либо операции  $e_{ij}$  для любого  $r$ -го требуемого ресурса выполнимость равна нулю, то это порождает требование на некий по порядку возникновения вспомогательный процесс  $d'_r(e_{ijr})$  который необходимо выполнить, чтобы обеспечить выполнимость операции, т.е.

$$\exists d'_r(e_{ijr}) | V(e_{ijr}) = 0$$

Все множество вспомогательных процессов

$$M'(d') = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} \sum_{r=1}^{p_r} d'_r(e_{ijr} | V(e_{ijr}) = 0), \quad M' \{1, \dots, m'\}$$

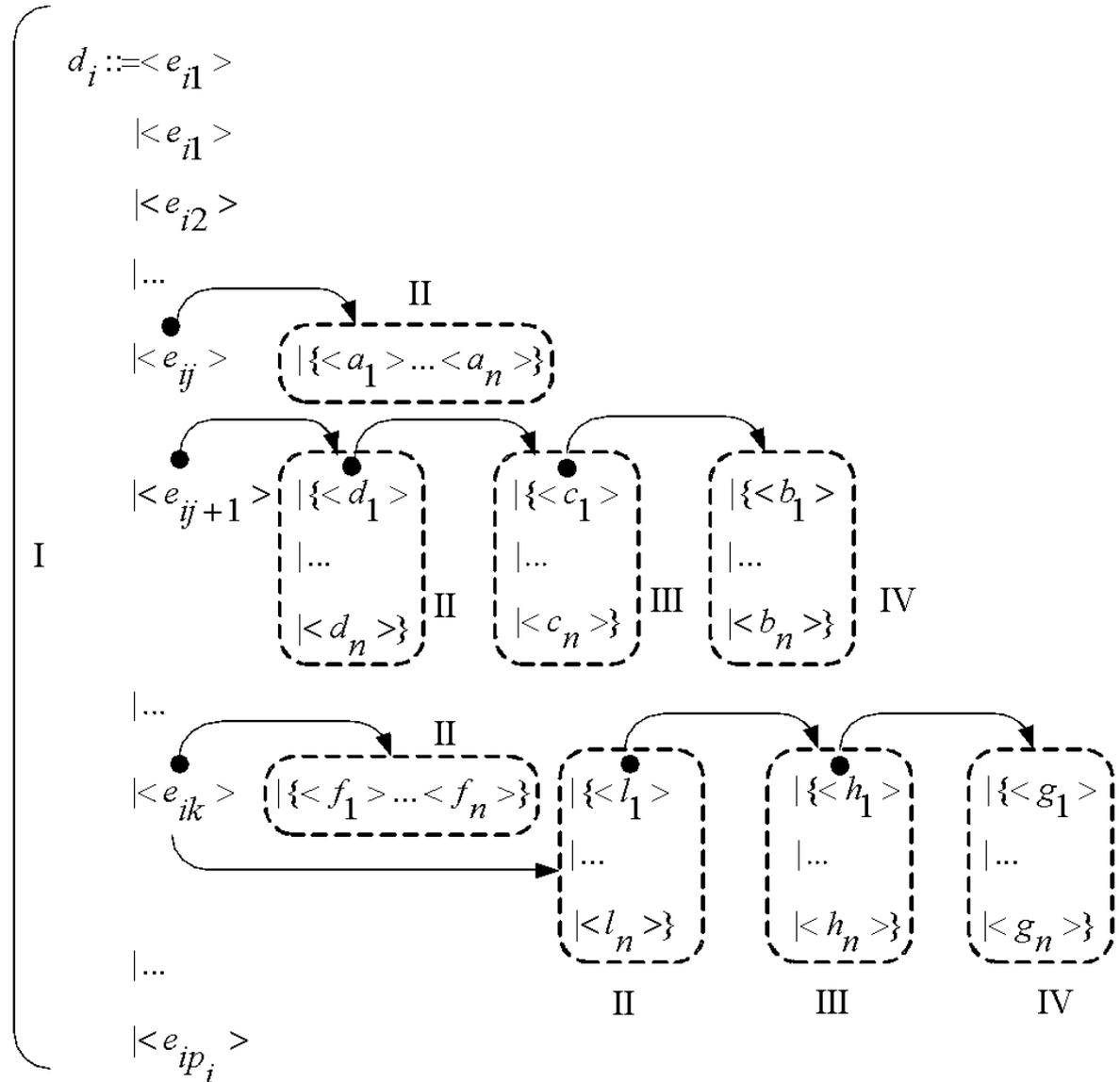


Базы данных процессов предприятия

# Тема

Каждый процесс в БД формально должен быть представлен таким же образом, как основной ТП, с помощью перечисления операций, например

$$d_i^1 = \{e_{i1}^1, e_{i2}^1, \dots, e_{ip_i}^1\}, \quad d_i^2 = \{e_{i1}^2, e_{i2}^2, \dots, e_{ip_i}^2\}$$



Тогда все множество процессов можно представить как множество связанных процессов:

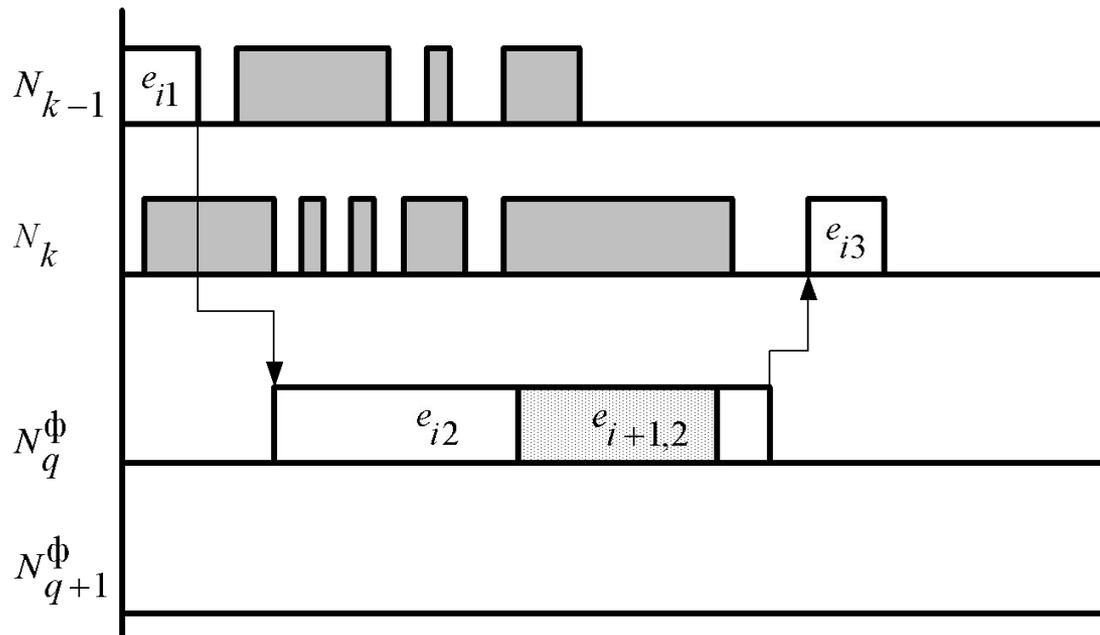
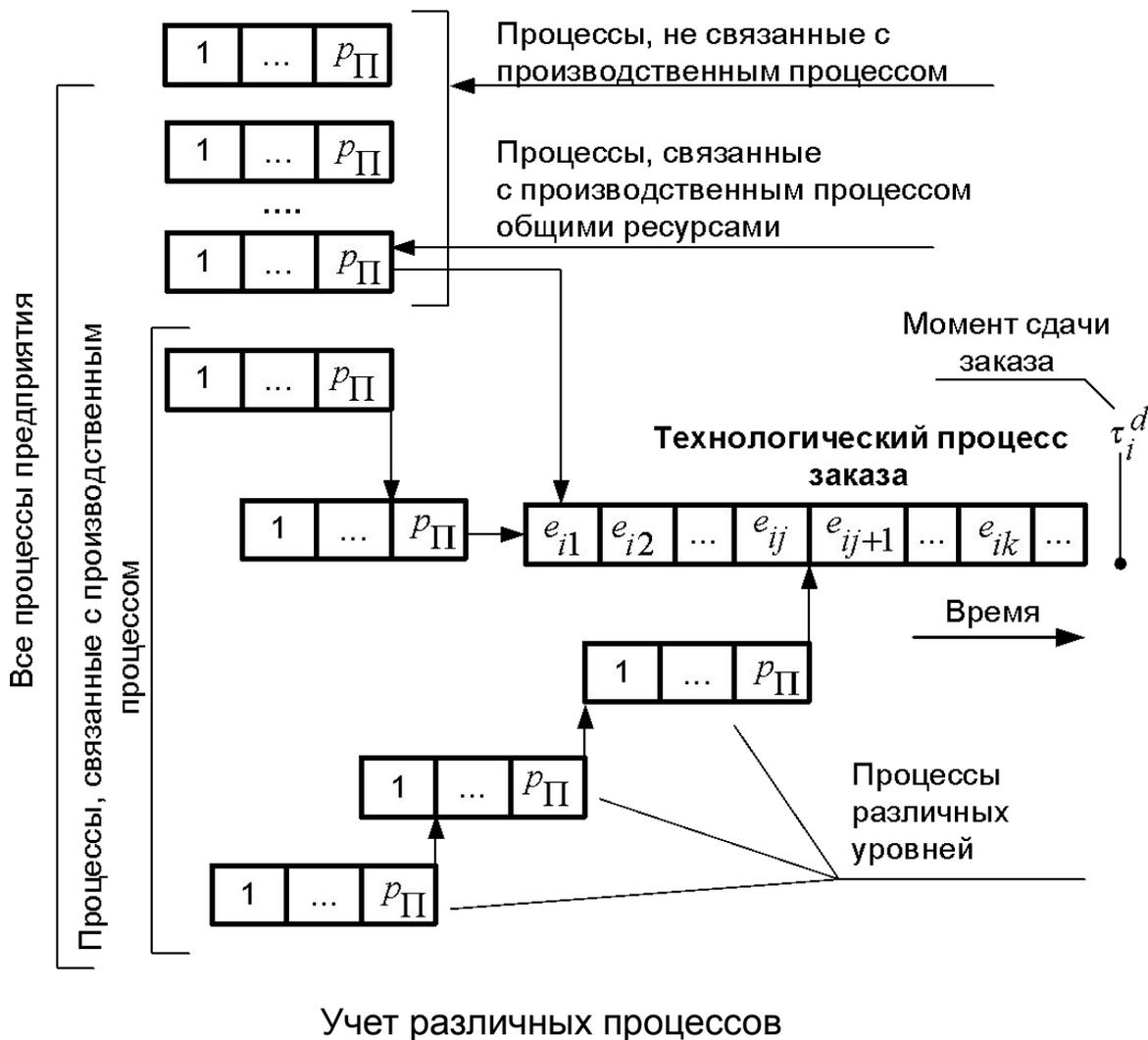
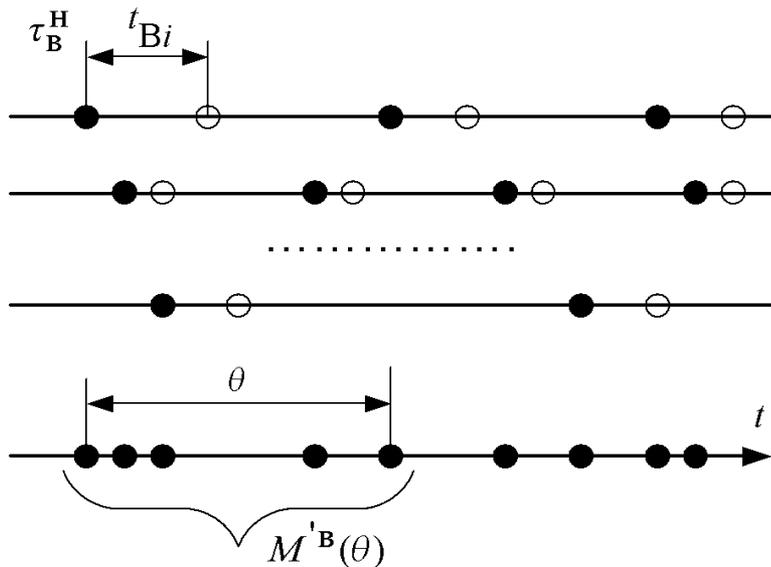


Диаграмма Ганта для случая планирования  
сторонних процессов



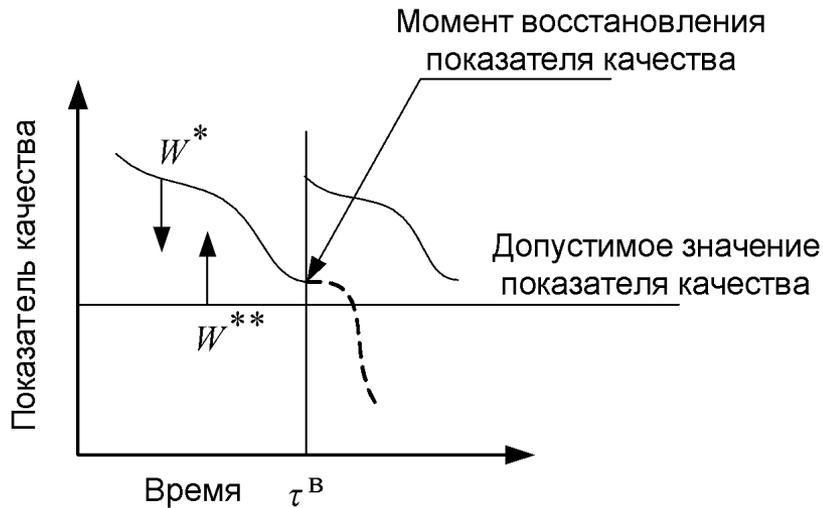


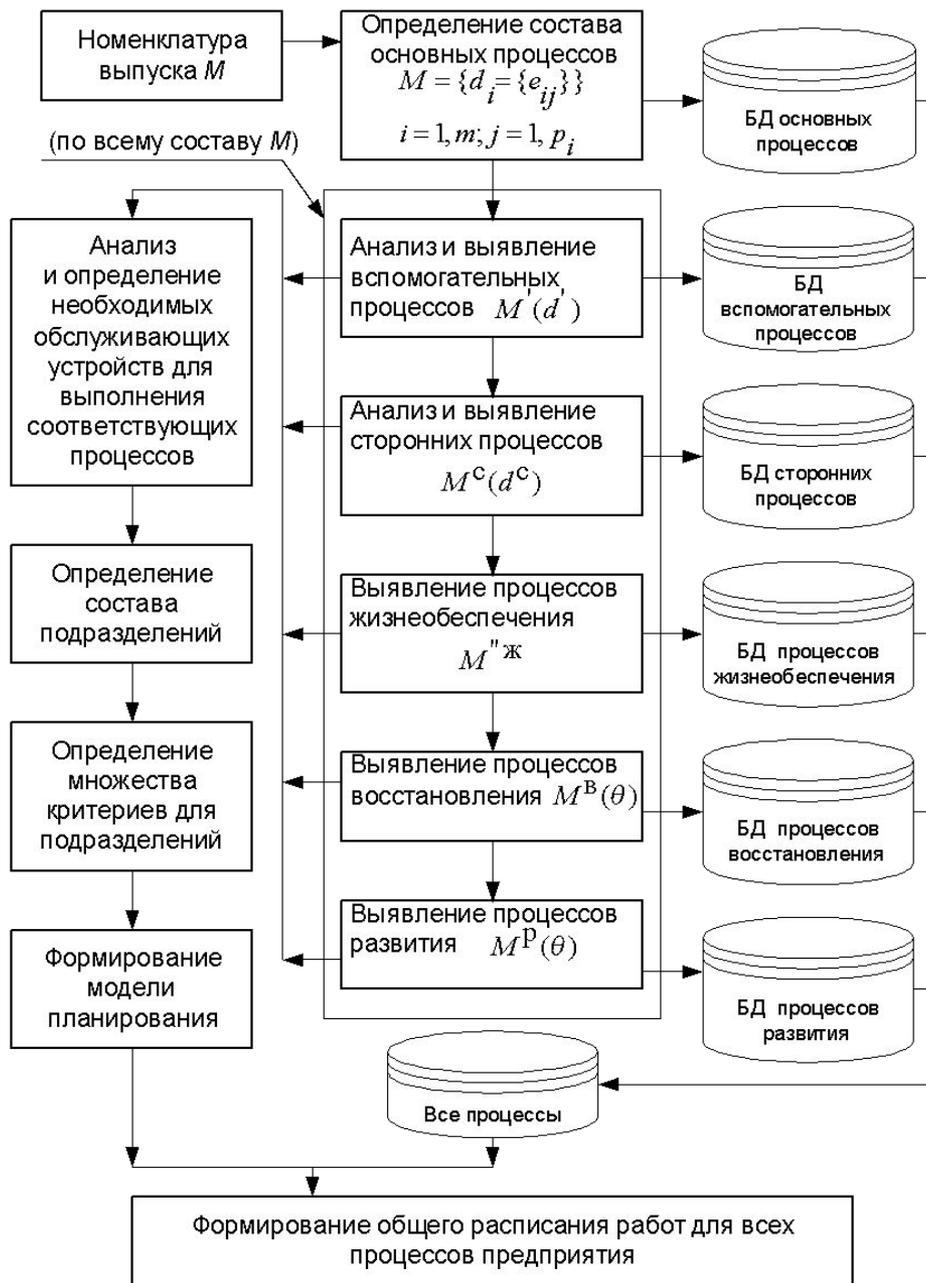
Объекты  
производственной  
среды

Определение множества  
процессов восстановления

$$M^{\text{B}}(\theta) = M^{I\text{B}}(\theta) \square M^{II\text{B}}(\theta)$$

Момент  
восстановления  
ресурса





Общий алгоритм планирования работ на предприятии