

ОСНОВЫ сетевого
планирования и
управления (СПУ)
разработками

1. Основы сетевого планирования и управления (СПУ) разработками
2. Основные параметры сетевого графика
3. Расчет сетевых моделей
4. Оптимизация сетевого графика

1. Основы сетевого планирования и управления (СПУ) разработками

Система СПУ -

комплекс графических и расчётных методов, позволяющий заранее планировать последовательность и взаимозависимость работ, следить за выполнением каждой работы в отдельности, выявлять и устранять все появляющиеся в ходе процесса отклонения, находить скрытые резервы.

В основе системы СПУ

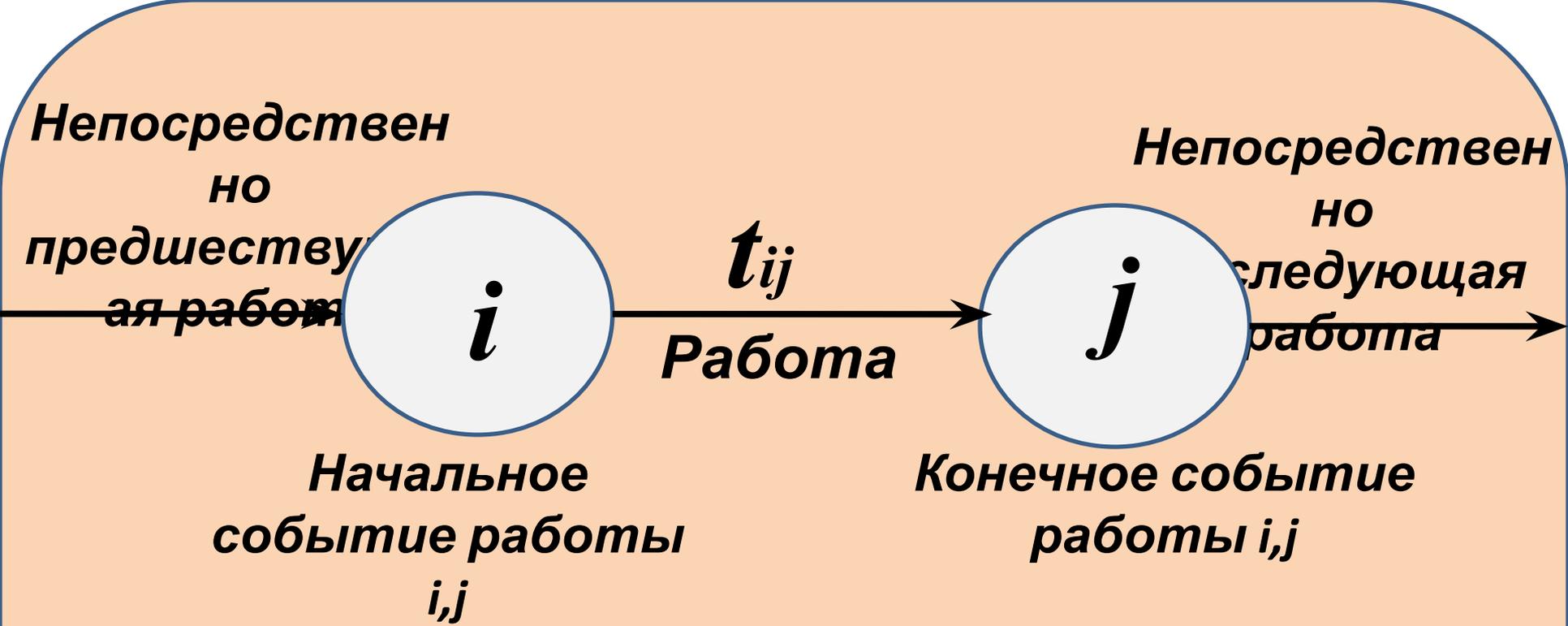
лежит сетевая модель или график, который представляет собой изображение взаимосвязей и результатов всех работ планируемого комплекса.

Для составления сетевого графика
используется перечень событий и работ.

Работа ()

любой трудовой процесс, проходящий во времени, в котором участвуют люди, машины, или процесс ожидания (процесс сушки, твердения, т.е. затраты времени, не требующие затрат ресурсов).

*Наиболее важная характеристика работы – ее объем: продолжительность в единицах времени, трудоемкость в человеко-днях, стоимостной показатель в рублях
(длина стрелки не имеет значение).*

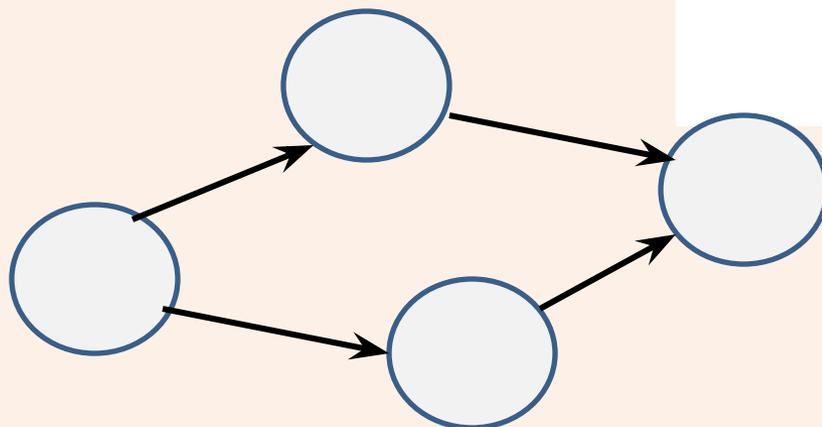
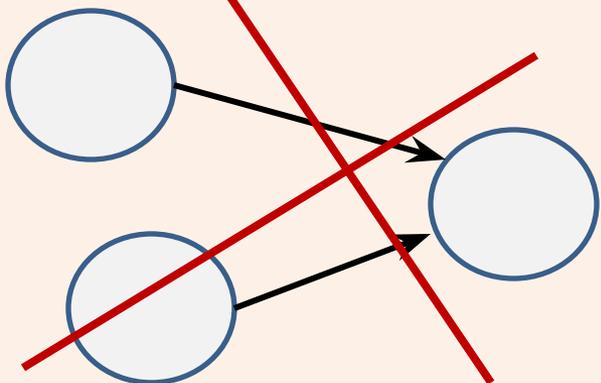
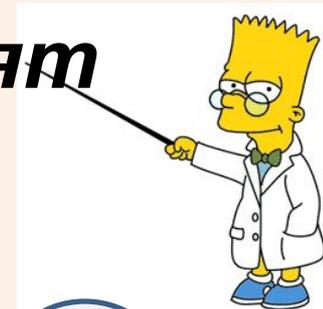


В модели имеется событие, которому не предшествует работа – исходное событие,
и событие, за которым нет непосредственно следующих работ – завершающее событие.

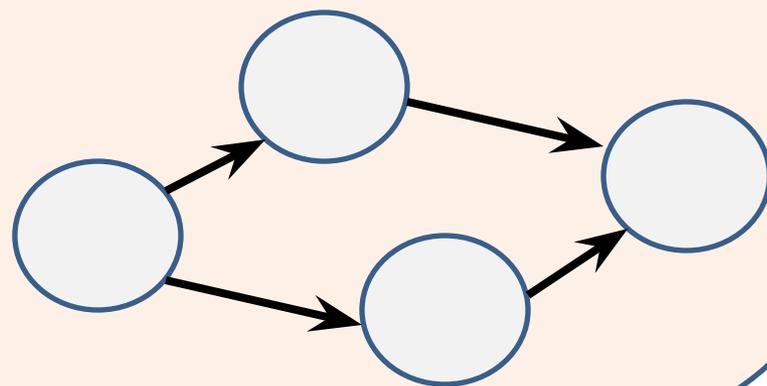
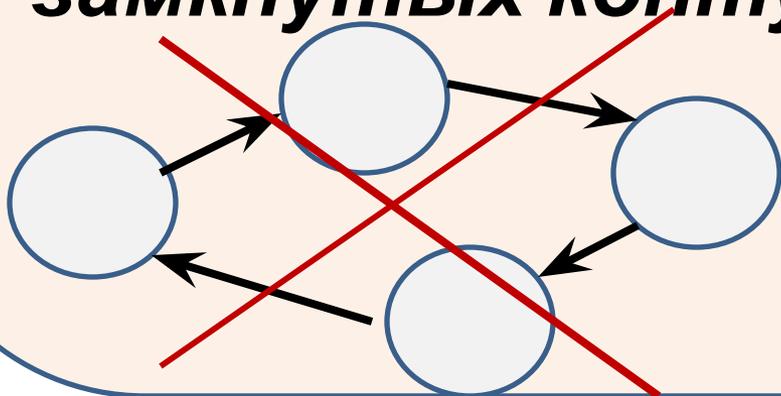


Правила построения Сетевых графиков

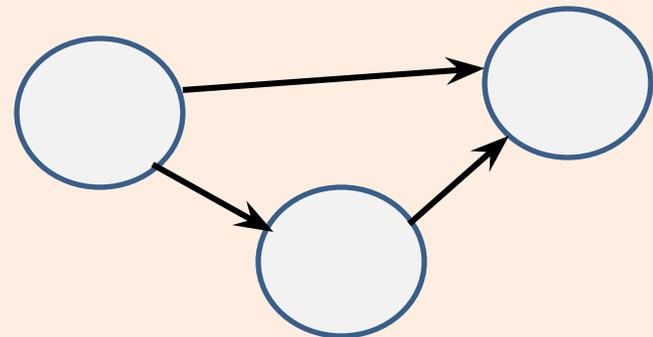
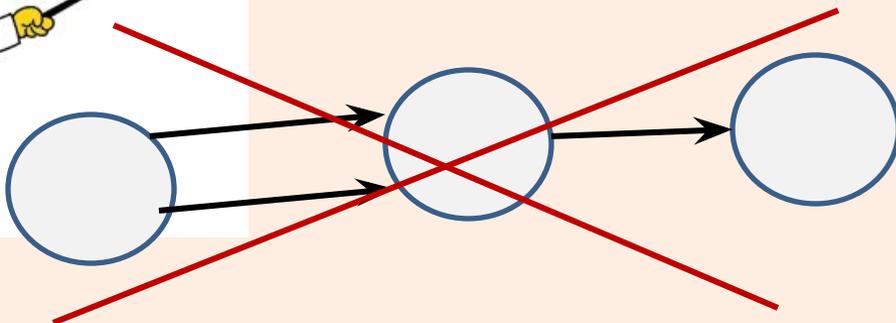
1. Сетевые графики должны иметь одну начальную работу, если имеется две начальные работы, то вводят нулевую работу.



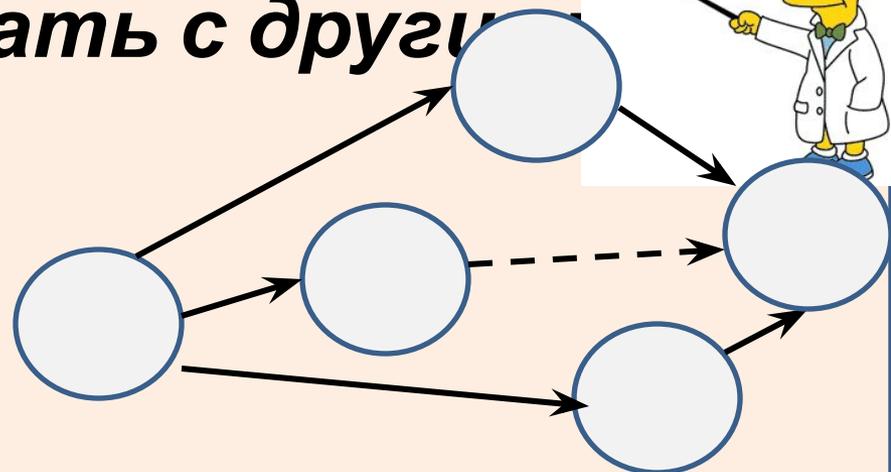
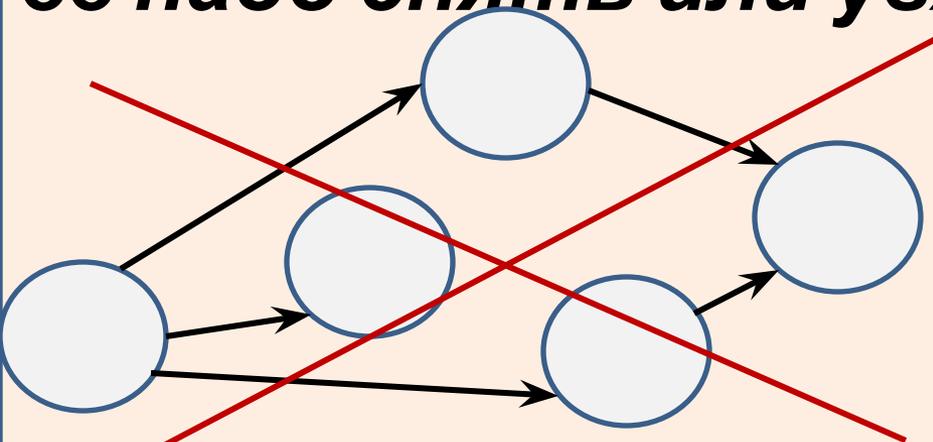
2. Не допускается возникновение замкнутых контуров.



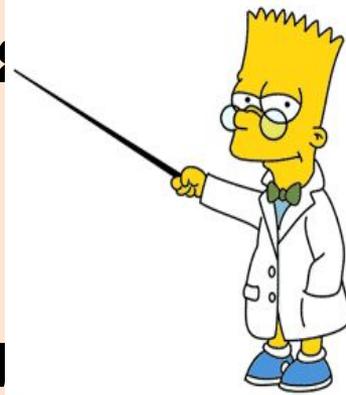
**3. Между двумя смежными событиями
н быть только одна работа.**



**4. График не должен содержать
тупиковых работ, если таковая име
ее надо снять или увязать с другими**



5. Не должно быть пересекающихся стрелок



6. Направление стрелок – слева направо

7. Должна соблюдаться технологическая последовательность работ

8. Количество работ входящих в событие может быть не равно количеству работ выходящих из этого события.

9. Не должно быть событий, которым не

2. Основные параметры сетевого графика

К основным параметрам
сетевого графика относятся:

- критический путь
- резервы событий
- резервы работ

Путь – последовательность работ, в которой конечное событие одной работы, совпадает с начальным событием другой.

Полный путь – путь, началом которого является исходное событие, а концом завершающее.

Продолжительность, длина пути, равна сумме продолжительностей работ его

Критический путь – наибольший по продолжительности из всех путей сетевого графика от исходного события (I) до завершающего (С).

Полные пути могут проходить вне критического или частично совпадать с ним.

*Эти меньшие по продолжительности пути называются **ненапряженными**.*

Особенности их в том, что они имеют резервы времени, а критический путь – нет.

При изменении продолжительности любой работы, входящей в критический путь, изменяется и срок наступления завершающего события.

Изменение продолжительности работ, не входящих в критический путь не влияет (до определенного предела) на сроки завершения всего комплекса работ в целом.

Для каждого i -го события определяется:

t_{pi} – ранний срок наступления – минимальный из возможных сроков наступления данного события при заданной продолжительности работ.

Срок, необходимый для выполнения всех работ, предшествующих этому событию и равен максимальному из предшествующих путей.

$$t_{pi} = t[L_{\max(I-i)}]$$

Для каждого i -го события определяется:

t_{ni} – поздний срок наступления – максимальный из сроков наступления данного события, при которых еще возможно выполнение всех следующих работ, с соблюдением установленного срока наступления события.

Срок, превышение которого на определённую величину вызовет аналогичную задержку наступления завершающего события равен разности между продолжительностью критического пути и продолжительностью максимального из последующих за событием путей.

$$t_{ni} = t[L_{кр}] - t[L_{max(i-C)}]$$

Для каждого i -го события определяется:

R_i – резерв времени для события – промежуток времени, на который может быть отсрочено наступление этого события без нарушения срока разработки планируемого комплекса в целом.

Определяется как разность между поздним (t_{ni}) и ранним (t_{pi}) сроками свершения данного события.

$$R_i = t_{ni} - t_{pi}$$

Резервы событий критического пути равны нулю,

так как на нём $t_{ni} = t_{pi}$

Для каждой работы (t_{ij}) определяется:

ранний срок начала ($t_{p.n.ij}$) – минимальный из возможных сроков начала данной работы.

ранний срок окончания ($t_{p.o.ij}$) – минимальный из возможных сроков окончания данной работы, при заданной продолжительности работ

Ранний срок начала работы совпадает с ранним сроком наступления ее начального события

$$t_{p.n.ij} = t_{pi},$$

а ранний срок окончания превышает его на продолжительность работы:

Для каждой работы (t_{ij}) определяется:

поздний срок начала ($t_{n.n.ij}$) – максимальный из допустимых сроков начала данной работы

поздний срок окончания ($t_{n.o.ij}$) – максимальный из допустимых сроков окончания данной работы, при которых еще возможно выполнения следующих работ с соблюдением установленного срока наступления завершающего события.

Поздний срок окончания работы совпадает с поздним сроком ее конечного события,

$$t_{n.o.ij} = t_{nj},$$

а поздний срок начала работы меньше на время выполнения работы : $t_{n.n.ij} = t_{ni} - t_{ij}$

Для каждой работы (t_{ij}) определяется:

Полный резерв времени для выполнения работы R_{nij}

– максимальный период времени, на который можно отсрочить начало или увеличить продолжительность работы, не изменяя установленный срок наступления завершающего события.

$$R_{nij} = t_{nj} - t_{pi} - t_{ij}$$

Для каждой работы (t_{ij}) определяется:

Свободный резерв времени для выполнения работы

R_{cij}

являющийся частью полного резерва – максимальный период времени, на который можно отсрочить начало или увеличить продолжительность работы, не изменяя при этом ранних сроков начала последующих работ.

$$R_{cij} = t_{pj} - t_{pi} - t_{ij}$$

Работы, лежащие на критическом пути, резервов не имеют, так как все резервы создаются за счёт разностей продолжительностей критического и рассматриваемого путей.

Относительным показателем, характеризующим резерв времени для выполнения работ, является коэффициент их напряженности, который равен отношению продолжительности отрезков пути между одними и теми же событиями, причем, один отрезок является частью пути максимальной продолжительности из всех путей, проходящих через данную работу, а другой отрезок – частью критического пути.

3. Расчет сетевых моделей

Параметры сети для сетевого графиков
рассчитываются графическим и табличным методом,
а для сложных математическим методом.

Графически метод расчёта осуществляется
непосредственно на графике и применяется в тех
случаях, когда число событий невелико. Для этого
каждый кружочек делится на 4 сектора.

Верхний сектор – резерв времени наступления

события R_i

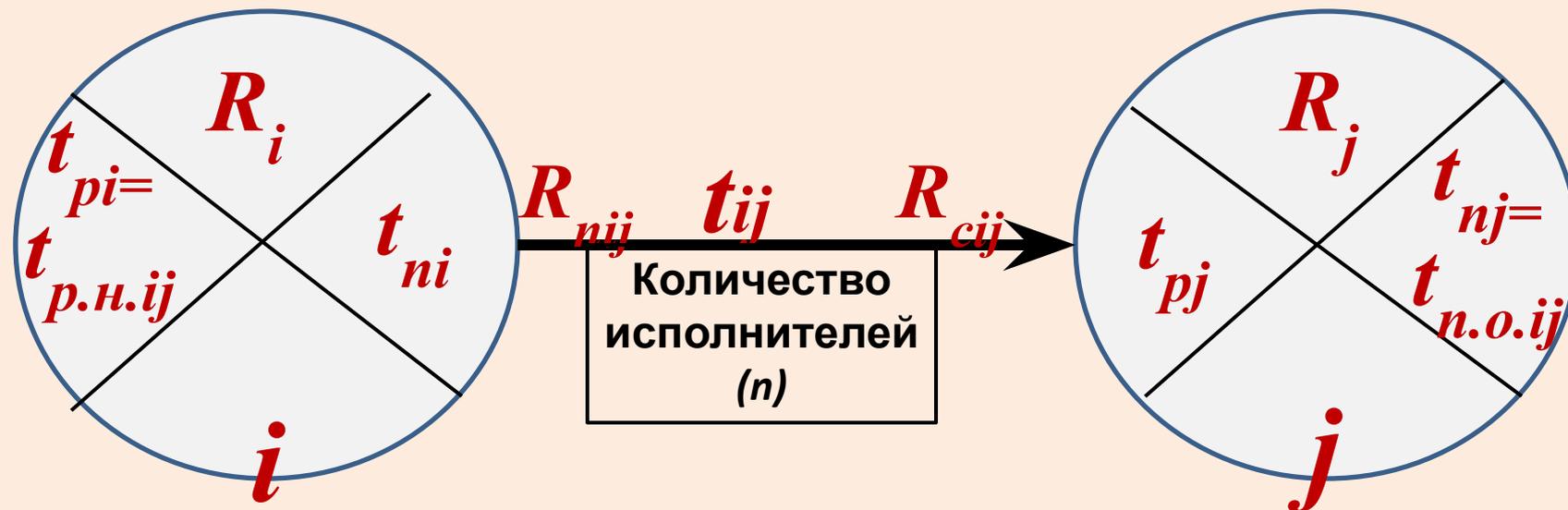
левый сектор – ранний срок наступления события

t_{pi}

правый сектор – поздний срок наступления

события t_{ni}

внизу – номер события



Исходные данные:

i,j	0,1	1,2	0,4	1,3	3,5	2,5	5,6	4,6
$t_{ij(n)}$	$\frac{3(2)}{}$	$\frac{5(3)}{}$	$\frac{5(2)}{}$	$\frac{6(4)}{}$	$\frac{4(3)}{}$	$\frac{1(1)}{}$	$\frac{3(2)}{}$	$\frac{2(1)}{}$

i,j – коды работ

t_{ij} – продолжительность работы

(n) – количество исполнителей

Методика расчета параметров

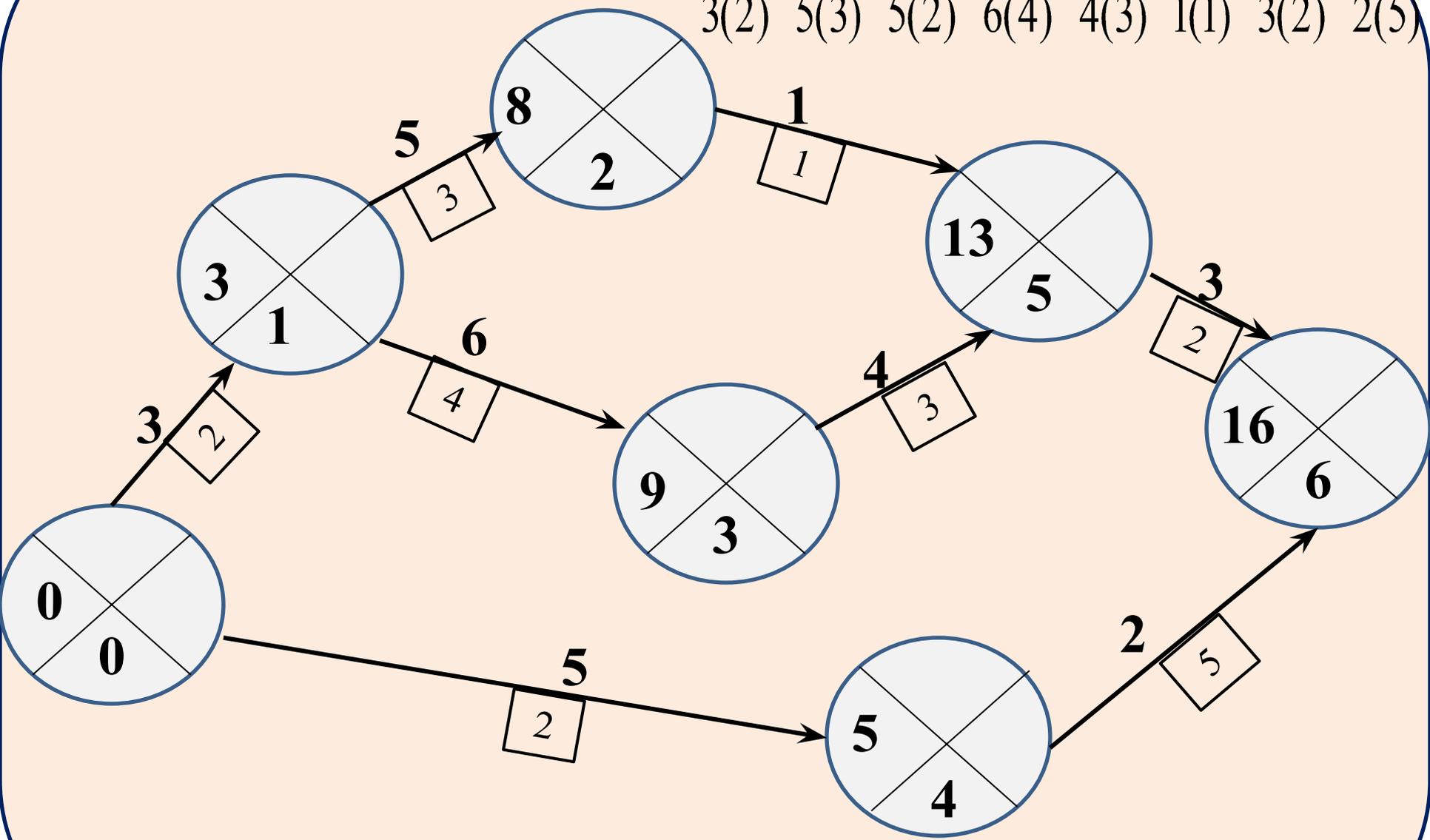
1) Ранние сроки свершения событий.

Ранний срок свершения исходного (первого или нулевого) события принимается равным нулю.

Ранние сроки свершения всех остальных событий определяется в строгой последовательности по возрастающим номерам событий.

Для определения раннего срока свершения любого события j рассматриваются все работы входящие в это событие, по каждой работе определяется ранний срок свершения конечного события как сумма раннего срока свершения начального события работы и продолжительности этой работы t_{ij} , из полученных значений выбирается максимальное время раннего срока свершения j -го события $t_{pj} = (t_{pi} + t_{ij})_{max}$ и записывается на график (левый сектор события)

$\frac{0,1}{3(2)}$; $\frac{1,2}{5(3)}$; $\frac{0,4}{5(2)}$; $\frac{1,3}{6(4)}$; $\frac{3,5}{4(3)}$; $\frac{2,5}{1(1)}$; $\frac{5,6}{3(2)}$; $\frac{4,6}{2(5)}$



Методика расчета параметров

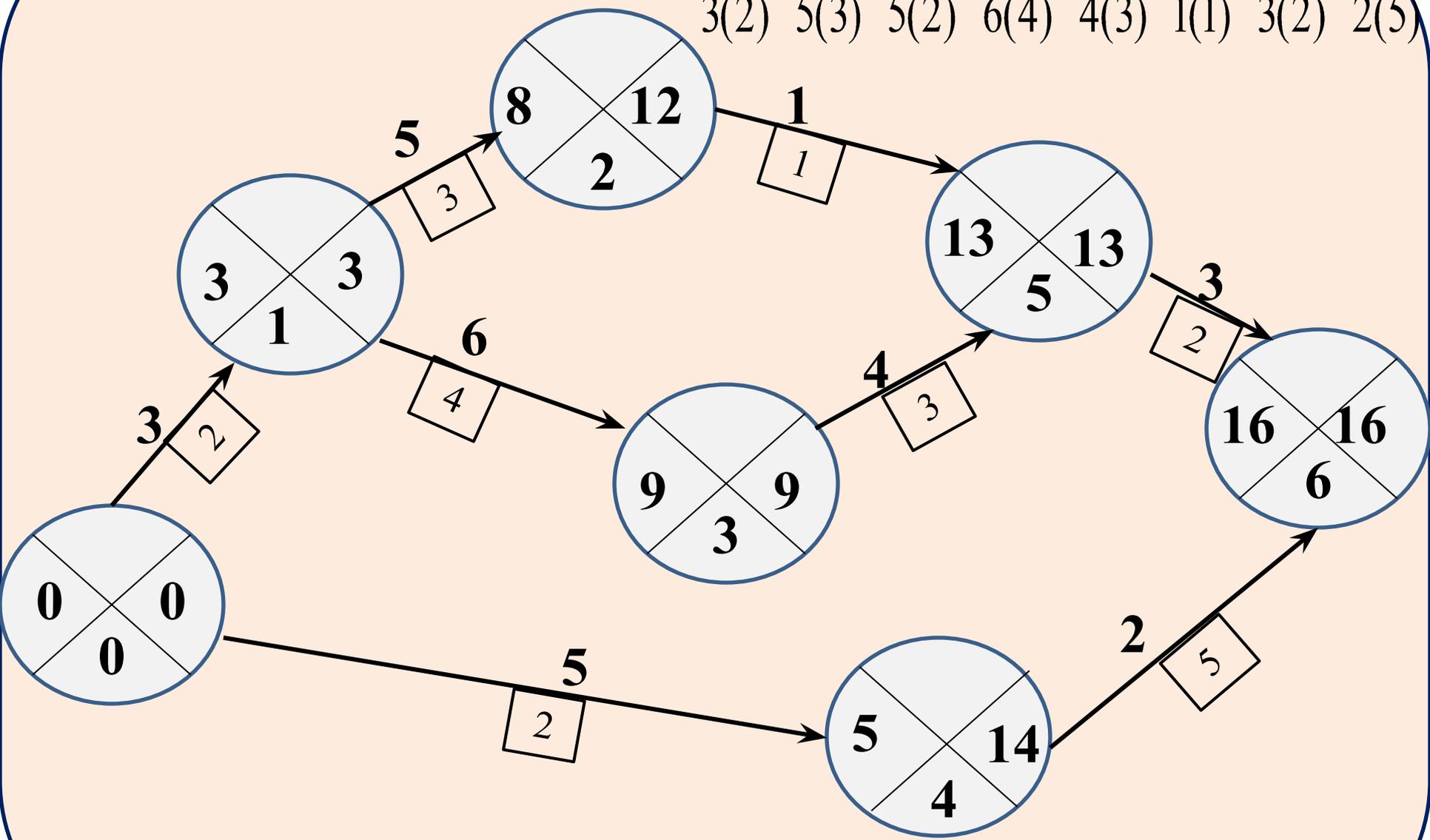
2) Поздние сроки свершения событий.

Поздний срок свершения завершающего события принимается равным его раннему сроку.

Расчет поздних сроков свершения всех остальных событий ведется в обратной последовательности, по убывающим номерам событий.

Для определения позднего срока свершения предыдущего события i рассматриваются все работы выходящие из i -го события. По каждой работе ведется расчет позднего срока свершения начального события t_{ni} , как разность между поздним сроком свершения конечного события этой работы t_{nj} и продолжительностью данной работы t_{ij} . Из полученных значений выбирают минимальное время позднего срока свершения i -го события: $t_{ni} = (t_{nj} - t_{ij})_{min}$ и записывают в правый сектор.

$\frac{0,1}{3(2)}$; $\frac{1,2}{5(3)}$; $\frac{0,4}{5(2)}$; $\frac{1,3}{6(4)}$; $\frac{3,5}{4(3)}$; $\frac{2,5}{1(1)}$; $\frac{5,6}{3(2)}$; $\frac{4,6}{2(5)}$



Методика расчета параметров

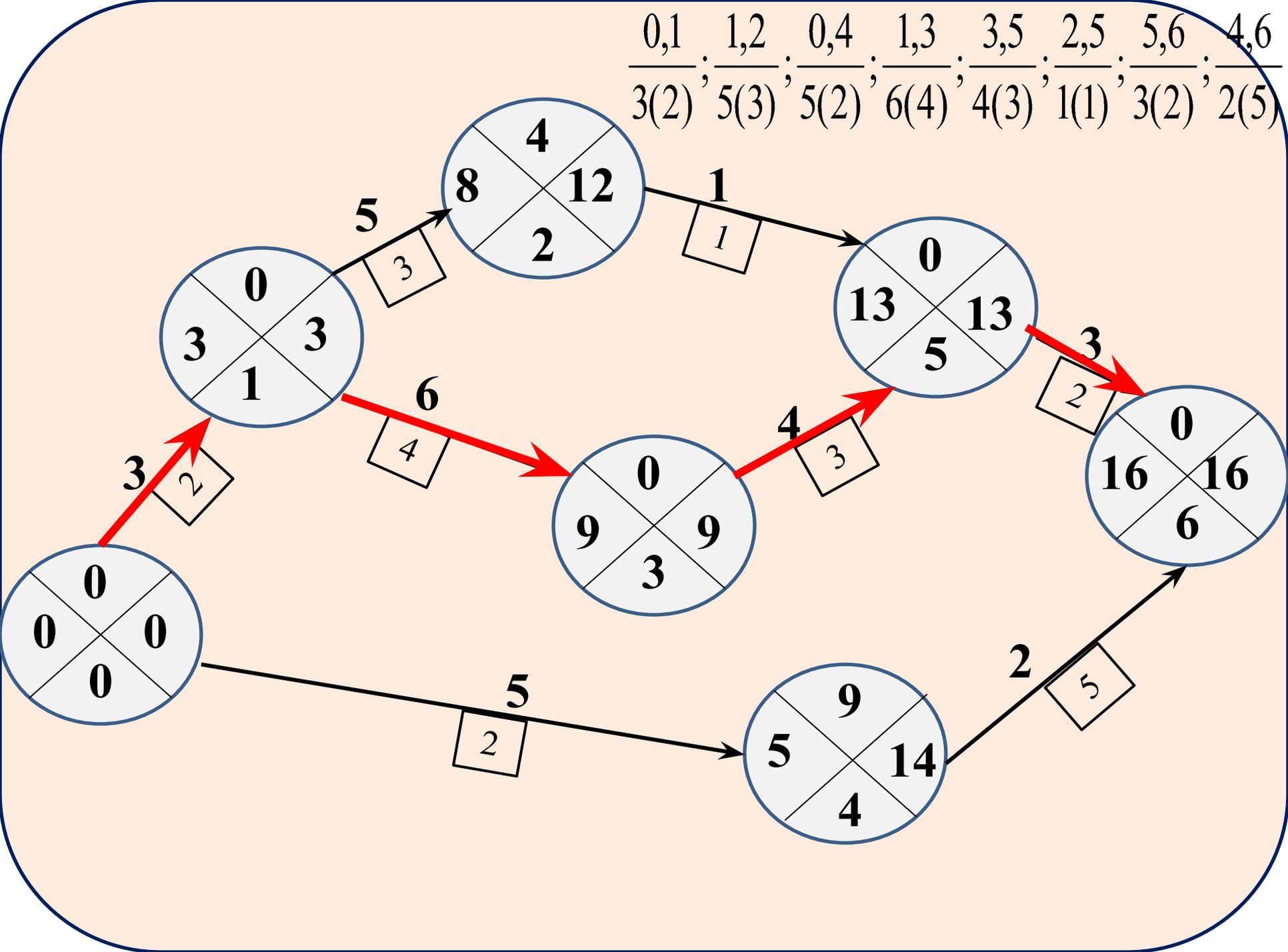
3) Продолжительность критического пути

равен раннему сроку наступления завершающего события.

4) Резервы времени событий.

При определении резервов времени для событий следует вычесть из числа, записанного в правом секторе данного события, число, записанное в левом секторе и поставить его в верхний сектор.

$\frac{0,1}{3(2)}$; $\frac{1,2}{5(3)}$; $\frac{0,4}{5(2)}$; $\frac{1,3}{6(4)}$; $\frac{3,5}{4(3)}$; $\frac{2,5}{1(1)}$; $\frac{5,6}{3(2)}$; $\frac{4,6}{2(5)}$



Методика расчета параметров

5) При определении

полного резерва времени для работы

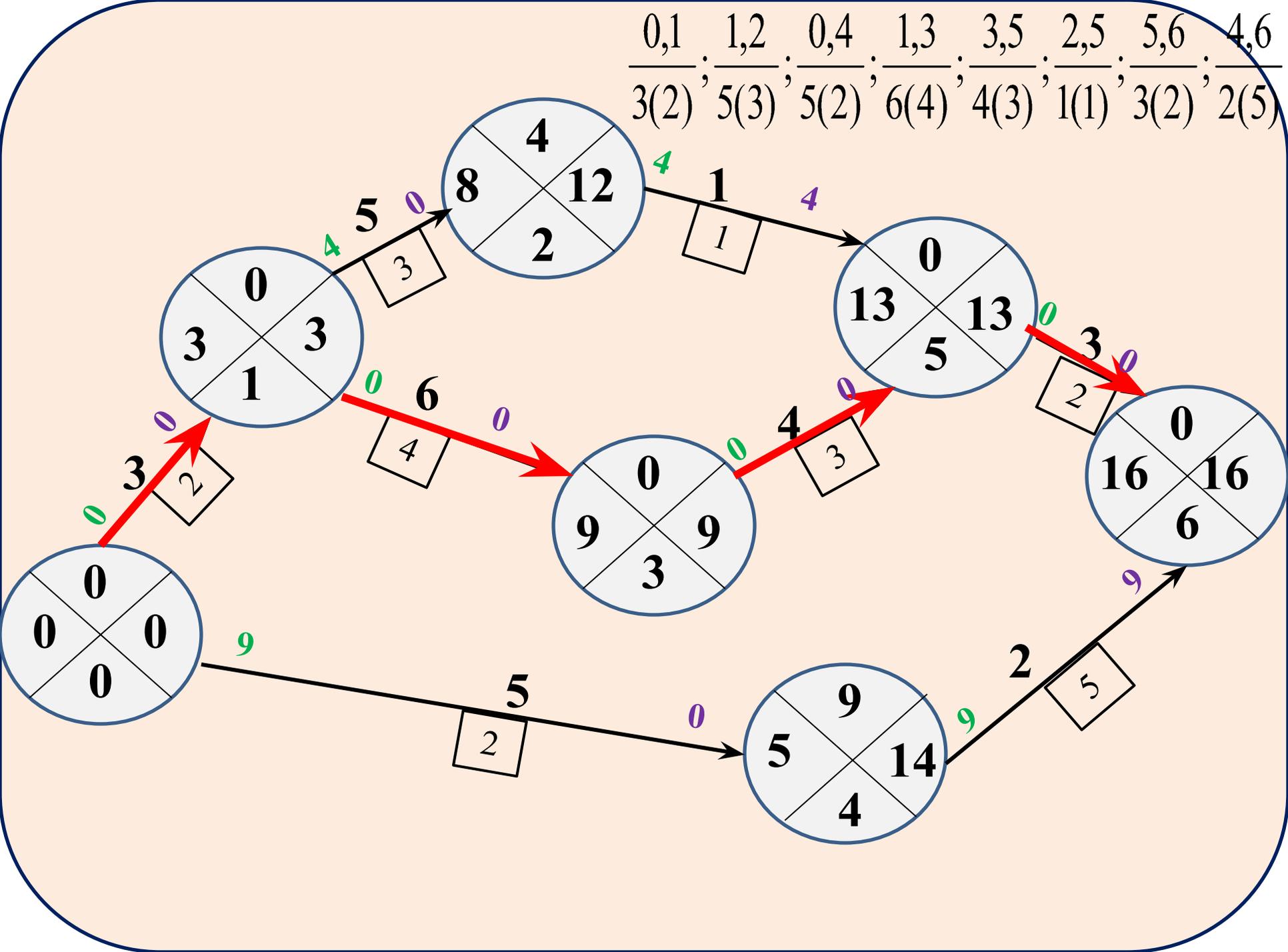
следует вычесть из числа, записанного в правом секторе конечного события, число, записанное в левом секторе начального события, и продолжительность самой работы.

6) При определении

свободного резерва для работы

следует вычесть из числа, записанного в левом секторе конечного события, число, записанное в левом секторе начального события, и продолжительность самой работы.

$\frac{0,1}{3(2)}$; $\frac{1,2}{5(3)}$; $\frac{0,4}{5(2)}$; $\frac{1,3}{6(4)}$; $\frac{3,5}{4(3)}$; $\frac{2,5}{1(1)}$; $\frac{5,6}{3(2)}$; $\frac{4,6}{2(5)}$



Коды работ в таблице записываются по возрастанию индекса i .

Столбцы 2 и 3 заполняются вспомогательными данными: кодами предшествующих и последующих работ.

Если работы начальные, то есть предшествующих им работ нет, или конечные, то есть последующих работ нет, то в соответствующих графах ставятся прочерки.

Предшествующих и последующих работ может быть несколько в соответствии с количеством векторов, кончающихся или начинающихся в данном событии.

В столбце 4 размещают значения продолжительности работ.

Табличный метод

$\frac{0,1}{3(2)}$; $\frac{1,2}{5(3)}$; $\frac{0,4}{5(2)}$; $\frac{1,3}{6(4)}$; $\frac{3,5}{4(3)}$; $\frac{2,5}{1(1)}$; $\frac{5,6}{3(2)}$; $\frac{4,6}{2(5)}$

Код работы	Предшествующие работы	Последующие работы	Продолжит работы	Сроки выполнения работ				Резервы		Критич. путь
				ранние		поздние		полны	свобод	
				начал	конец	начал	конец			
ij	$(i-1)i$	$j(j+1)$	t_{ij}	$t_{p.n.ij}^o$	$t_{p.o.ij} = t_{p.nij} + t_{ij}$	$t_{n.n.ij}^o$	$t_{n.o.ij}$	$R_{nij}^y = t_{noij}^- - t_{p.nij}$	$R_{cij}^n = t_{pj}^- - t_{p.nij} - t_{ij}$	
0,1	-	1,2; 1,3	3							
0,4	-	4,6	5							
1,2	0,1	2,5	5							
1,3	0,1	3,5	6							
2,5	1,2	5,6	1							
3,5	1,3	5,6	4							
4,6	0,4	-	2							
5,6	2,5; 3,5	-	3							

Со столбца 5 начинаются расчетные данные. Расчет производится в два прохода по строкам таблицы.

Первый проход по строкам сверху вниз, при котором рассчитываются ранние сроки работ, а **второй проход** по строкам снизу вверх, при котором рассчитываются поздние сроки работ.

Раннее начало работ, не имеющих предшествующих (в графе 2 – прочерк), может быть принято за 0, если не задано какое-либо другое значение.

Раннее окончание работы определяется согласно формуле

$$t_{\text{ран}} = t_{\text{поз}} - t_{\text{дл}}$$

Раннее начало остальных работ можно определить:

если рассматривается, например работа 2,5, у которой начальное событие 2, то время ее раннего начала равно времени раннего окончания работы 1,2, так как у нее конечное событие 2.

Значение из графы 6 переписывается в графу 5. Коды предшествующих работ указаны в графе 2. Раннее окончание также определяется по формуле

$$t_{p.o.ij} = t_{p.nij} + t_{ij}$$

Если, в графе 2 указано, что некой работе предшествует более, чем одна работа (работе 5,6 предшествуют работы 2,5 и 3,5), то необходимо выбрать значение раннего начала из нескольких вариантов значения (9 – по времени окончания работы 2,5 или 13 – по времени окончания работы 3,5).

Правило выбора соответствует формуле

$$t_{p.n.ij} = (t_{pi} + t_{ij})_{max} ,$$

то есть выбирается максимальное значение (в примере – 13).

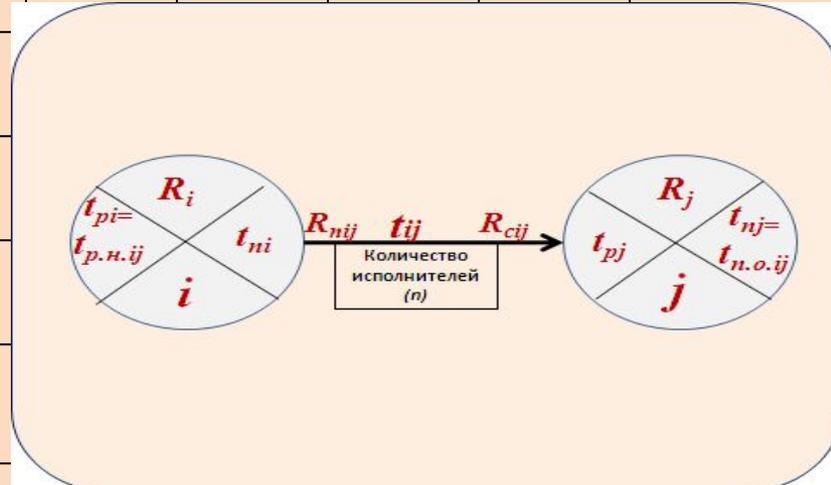
Ранние окончания определяются как указывалось выше.

Максимальное значение раннего окончания в графе 6 соответствует значению продолжительности критического пути (16).

Табличный метод

$\frac{0,1}{3(2)}$; $\frac{1,2}{5(3)}$; $\frac{0,4}{5(2)}$; $\frac{1,3}{6(4)}$; $\frac{3,5}{4(3)}$; $\frac{2,5}{1(1)}$; $\frac{5,6}{3(2)}$; $\frac{4,6}{2(5)}$

Код работы	Предшествующие работы	Последующие работы	Продолжит работы	Сроки выполнения работ				Резервы		Критич. путь
				ранние		поздние		полны	свобод	
				начал	конец	начал	конец			
ij	$(i-1)i$	$j(j+1)$	t_{ij}	$t_{p.n.ij}^o$	$t_{p.o.ij} = t_{p.n.ij} + t_{ij}$	$t_{n.n.ij}^o$	$t_{n.o.ij} = t_{n.n.ij} - t_{ij}$	$R_{nij} = t_{noij} - t_{pnij}$	$R_{cij} = t_{pj} - t_{pnij} - t_{ij}$	
0,1	-	1,2; 1,3	3	0	3					
0,4	-	4,6	5	0	5					
1,2	0,1	2,5	5	3	8					
1,3	0,1	3,5	6	3	9					
2,5	1,2	5,6	1	8	9					
3,5	1,3	5,6	4	9	13					
4,6	0,4	-	2	5	7					
5,6	2,5; 3,5	-	3	9,13	16					



max

Второй проход

вдоль строк таблицы от работы, записанной в последней строке, к работе, записанной в первой строке, позволяет определить значения поздних показателей работ.

Для работ, у которых нет последующих работ (в графе 3 – прочерк, в примере работы 4,6; 5,6) в графу позднего окончания (8) записывается значение критического пути.

Для этих работ значение позднего начала вычисляется по формуле

**Позднее окончание остальных работ
можно определить:**

**если рассматривается, например работа
3,5, у которой конечное событие 5, то время
ее позднего окончания равно времени
позднего начала работы 5,6, так как у нее
конечное событие 5.**

**Значение из графы 7 переписывается в
графу 8.**

**Коды последующих работ указаны в графе
3.**

Если, в графе 3 указано, что некой работе следует более, чем одна работа

(работе 0,1 следуют работы 1,2 и 1,3), то необходимо выбрать значение позднего окончания из нескольких вариантов значения

(3 – по времени начала работы 1,3 или 7 – по времени начала работы 1,2), выбирается минимальное значение

(в примере – 3).

Позднее начало определяются как указывалось выше по формуле

Табличный метод

$\frac{0,1}{3(2)}$; $\frac{1,2}{5(3)}$; $\frac{0,4}{5(2)}$; $\frac{1,3}{6(4)}$; $\frac{3,5}{4(3)}$; $\frac{2,5}{1(1)}$; $\frac{5,6}{3(2)}$; $\frac{4,6}{2(5)}$

Код работы	Предшествующие работы	Последующие работы	Продолжит работы	Сроки выполнения работ				Резервы		Критич. путь
				ранние		поздние		полны	свобод	
				начал	конец	начал	конец			
ij	$(i-1)i$	$j(j+1)$	t_{ij}	$t_{p.n.ij}^o$	$t_{p.o.ij} = t_{p.n.ij} + t_{ij}$	$t_{n.n.ij}^o$	$t_{n.o.ij} = t_{n.n.ij} + t_{ij}$	$R_{nij}^{\text{Й}}$	$R_{cij}^{\text{Н}}$	
0,1	-	1,2; 1,3	3	0	3	0	7, 3			
0,4	-	4,6	5	0	5	9	14			
1,2	0,1	2,5	5	3	8	7	12			
1,3	0,1	3,5	6	3	9	3	9			
2,5	1,2	5,6	1	8	9	12	13			
3,5	1,3	5,6	4	9	13	9	13			
4,6	0,4	-	2	5	7	14	16			
5,6	2,5; 3,5	-	3	9, 13	16	13	16			

max

**Значение полного резерва времени
(столбец 9) рассчитывается по
формуле**

$$R_{nij} = t_{noi} - t_{pni} - t_{ij}.$$

**Значение свободного резерва
времени (столбец 10)
рассчитывается по формуле**

$$R_{cij} = t_{pj} - t_{pni} - t_{ij}$$

Табличный метод

$\frac{0,1}{3(2)}$; $\frac{1,2}{5(3)}$; $\frac{0,4}{5(2)}$; $\frac{1,3}{6(4)}$; $\frac{3,5}{4(3)}$; $\frac{2,5}{1(1)}$; $\frac{5,6}{3(2)}$; $\frac{4,6}{2(5)}$

Код работы	Предшествующие работы	Последующие работы	Продолжит работы	Сроки выполнения работ				Резервы		Критич. путь
				ранние		поздние		полны	свобод	
				начал	конец	начал	конец			
ij	$(i-1)i$	$j(j+1)$	t_{ij}	$t_{p.n.ij}^o$	$t_{p.o.ij} = t_{p.n.ij} + t_{ij}$	$t_{n.n.ij}^o$	$t_{n.o.ij} = t_{n.n.ij} + t_{ij}$	$R_{nij}^{\text{Й}}$	$R_{cij}^{\text{Н}}$	
0,1	-	1,2; 1,3	3	0	3	0	7, 3	0	0	+
0,4	-	4,6	5	0	5	9	14	9	0	
1,2	0,1	2,5	5	3	8	7	12	4	0	
1,3	0,1	3,5	6	3	9	3	9	0	0	+
2,5	1,2	5,6	1	8	9	12	13	4	4	
3,5	1,3	5,6	4	9	13	9	13	0	0	+
4,6	0,4	-	2	5	7	14	16	9	9	
5,6	2,5; 3,5	-	3	9, 13	16	13	16	0	0	+

max

4. Оптимизация сетевого графика

В общем случае оптимизация может производиться по времени, трудовым, материальным ресурсам и по стоимости.

Оптимизация сетевых графиков по времени может быть осуществлена различными способами:

а) перераспределением ресурсов

б) интенсификацией работ в критической зоне

При ограниченных трудовых ресурсах оптимизация осуществляется с помощью перераспределения ресурсов между путями критической зоны и кратчайшими путями сетевого графика в следующей последовательности:

Составляется:

1. линейная диаграмма :

- по оси абсцисс откладывается время;
- по оси ординат – коды работ, работа это отрезок равный продолжительности этой работы;
- работы наносятся в порядке возрастания **индекса j** ;
- работы указываются по ранним срокам свершения событий прямой линией;
- по поздним срокам свершения событий – пунктиром;
- критические работы выделяются

2. карта проекта (или график ежедневной потребности ресурсов) по оси абсцисс время, по оси ординат – количество человек.

Используя резервы времени некритических работ, можно смещая во времени эти работы, снять пики загрузки, уменьшив, тем самым, необходимое число работников. Роль полных и свободных резервов времени при выборе оптимальных календарных сроков выполнения некритических работ объясняются двумя общими правилами

- 1. Если полный резерв времени равен свободному, то календарные сроки некритических работ можно выбрать в любой точке между ранним ее началом и поздним окончанием.**
- 2. Если свободный резерв меньше полного, то срок начала некритической работы можно сдвинуть по отношению к ее раннему сроку начала не более чем на величину свободного резерва, не влияя при этом на выбор календарных сроков непосредственно следующих работ.**

Табличный метод

$\frac{0,1}{3(2)}$; $\frac{1,2}{5(3)}$; $\frac{0,4}{5(2)}$; $\frac{1,3}{6(4)}$; $\frac{3,5}{4(3)}$; $\frac{2,5}{1(1)}$; $\frac{5,6}{3(2)}$; $\frac{4,6}{2(5)}$

Код работы	Предшествующие работы	Последующие работы	Продолжит работы	Сроки выполнения работ				Резервы		Критич. путь
				ранние		поздние		полны	свобод	
				начал	конец	начал	конец			
ij	$(i-1)i$	$j(j+1)$	t_{ij}	$t_{p.n.ij}^o$	$t_{p.o.ij} = t_{p.nij} + t_{ij}$	$t_{n.n.ij}^o$	$t_{n.o.ij} = t_{n.j} - t_{ij}$	$R_{nij} = t_{noij} - t_{pnij}$	$R_{cij} = t_{pj} - t_{pnij} - t_{ij}$	
0,1	-	1,2; 1,3	3	0	3	0	7, 3	0	0	+
0,4	-	4,6	5	0	5	9	14	9	0	
1,2	0,1	2,5	5	3	8	7	12	4	0	
1,3	0,1	3,5	6	3	9	3	9	0	0	+
2,5	1,2	5,6	1	8	9	12	13			
3,5	1,3	5,6	4	9	13	9	13			
4,6	0,4	-	2	5	7	14	16			
5,6	2,5; 3,5	-	3	9, 13	16	13	16			

