

Задачи календарного планирования

Олимпийские игры 1992 г., Барселона, более 2000 мероприятий за 15 дней.

- частичный порядок на множестве событий (четверть финала, полуфинал, финал);
- мощность спортивных сооружений (число одновременных соревнований, число зрителей);
- транспортные проблемы и доход (максимизировать посещаемость наиболее популярных соревнований — раздвинуть их по времени);
- требования TV (минимум параллельных трансляций);
- обеспечение безопасности (число полицейских ограничено).

Система поддержки решений «SUCCESS–92» Университет г. Барселоны

Постановка задачи

Дано: $J = \{1, \dots, n\}$ — множество работ;

$\tau_j \geq 0$ — длительность работы j ;

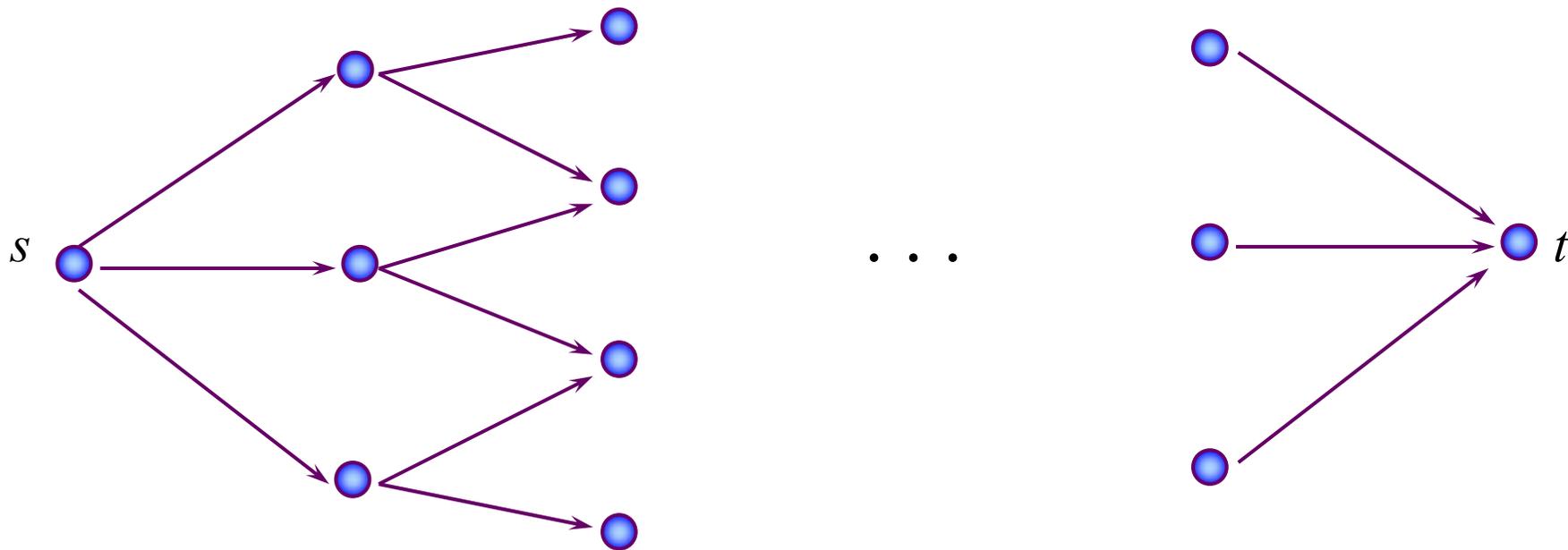
$C = \{(i, j) \mid i, j \in J\}$ — частичный порядок, работа j не может начаться раньше окончания работы i .

Найти:

- Минимальное время завершения всего проекта.
- Наиболее ранний момент начала и завершения каждой работы.
- Множество критических работ, то есть таких работ, задержка хотя бы одной из которых приведет к задержке всего проекта.
- Допустимое запаздывание для не критических работ.
- Вероятность завершения проекта к заданному сроку.

Сетевой график «работы — дуги»

$G = (V, E)$ — ориентированный взвешенный граф без циклов с одним источником s и одним стоком t , каждой дуге $j = (i, k)$ приписан вес $\tau_j \geq 0$.



Вершины — события. Дуги — работы.

Пример

A — выбрать место для офиса

B — создать финансовый и организационный план

C — определить обязанности персонала

D — разработать план офиса

E — ремонт помещений

F — отобрать кандидатов на увольнение

G — нанять новых служащих

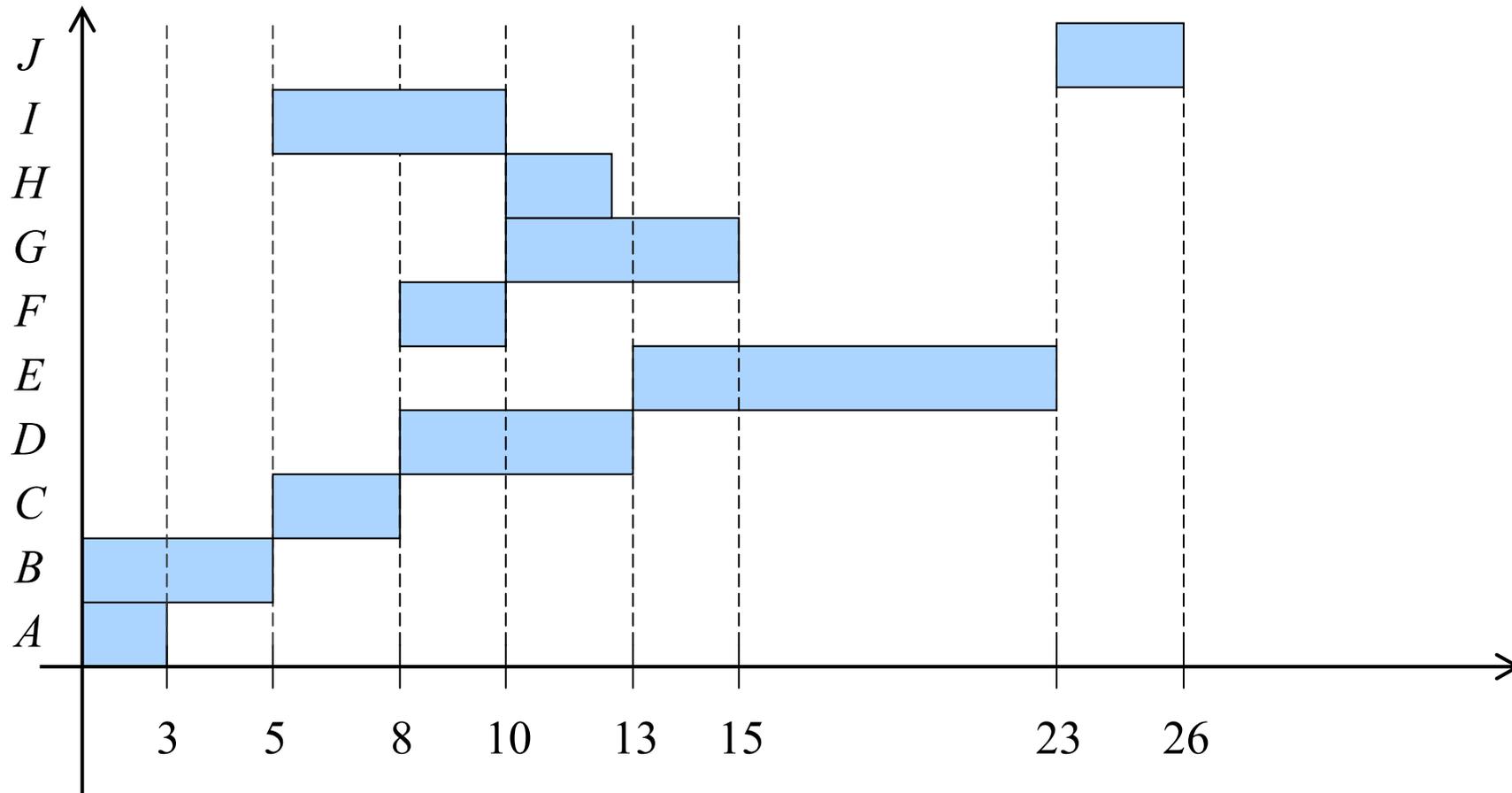
H — назначить ключевых руководителей

I — распределить обязанности руководителей

J — обучить персонал

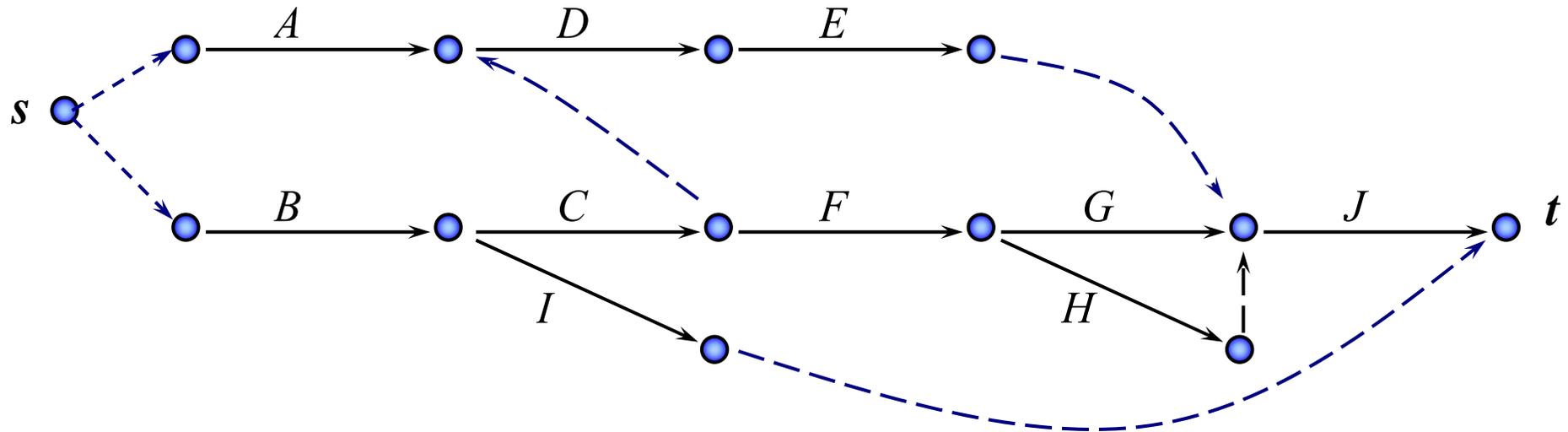
Предшествование	Длительность
—	3
—	5
<i>B</i>	3
<i>A, C</i>	5
<i>D</i>	10
<i>C</i>	2
<i>F</i>	5
<i>F</i>	2
<i>B</i>	5
<i>H, E, G</i>	3

Диаграмма Гантта

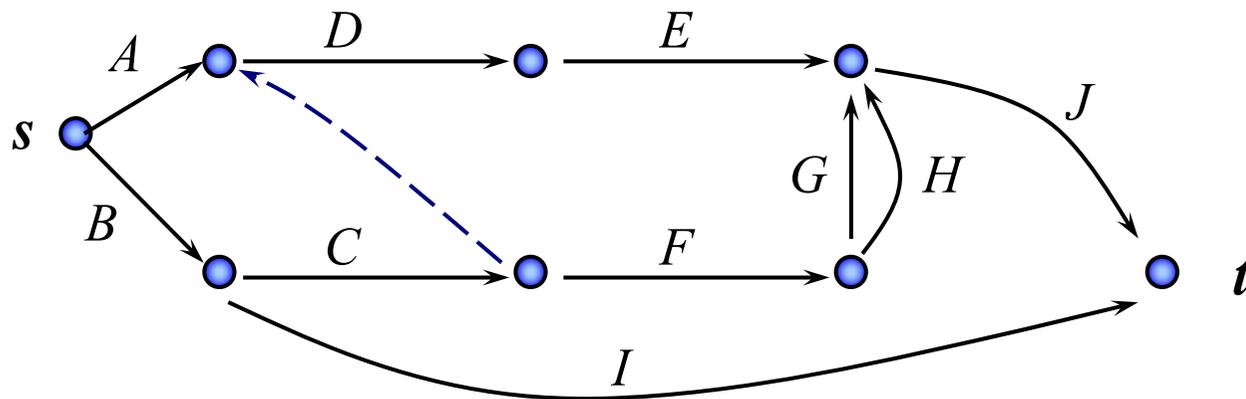


Работа E является критической. Задержка работы F ведет к задержке работ G, H , но не работы J .

Сетевой график «работы — дуги»



Некоторые фиктивные дуги можно исключить



Параметры сетевой модели

Определение Рангом $r(x)$ вершины $x \in V$ называется число дуг в максимальном пути (по числу дуг) из источника s в вершину x . Рангом проекта R называется ранг стока t : $R = r(t)$.

Рекуррентные соотношения для рангов

$$r(x) = \begin{cases} 0, & x = s \\ \max \{r(y) + 1 \mid (y, x) \in E\}, & x \neq s \end{cases}$$

Алгоритм Форда

$|V| = n$, $|E| = m$, дуга $e = (i(e), k(e)) \in E$.

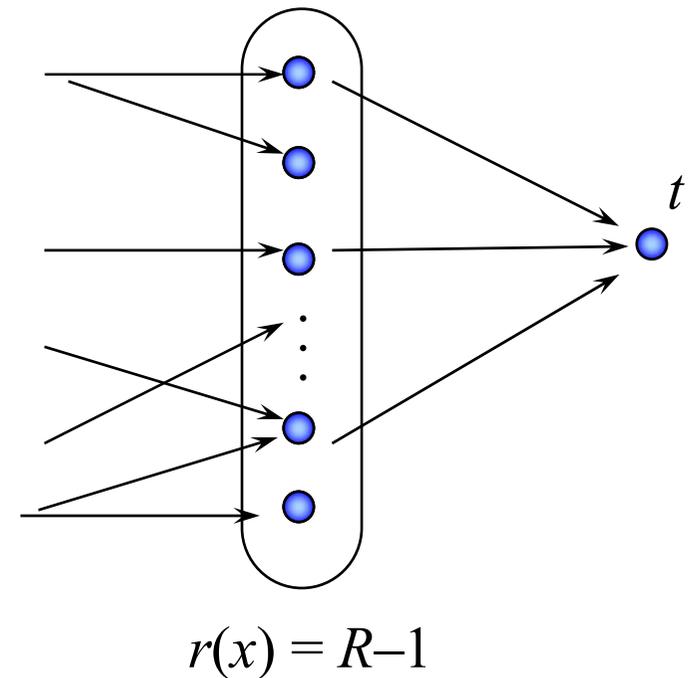
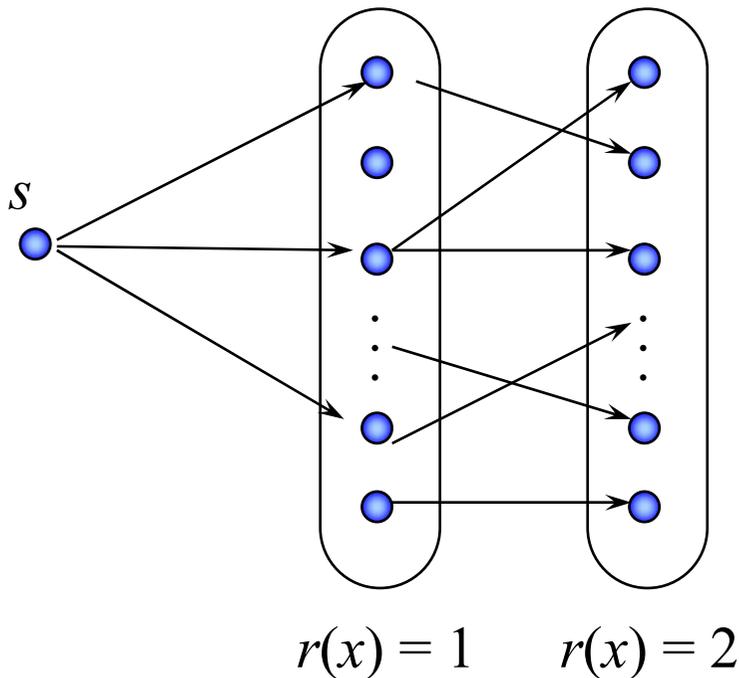
Алгоритм

1. $r(x) := 0$ для всех $x \in V$.
2. for $l := 1, \dots, |V|$ do
for $e := 1, \dots, |E|$ do
if $r(k(e)) < r(i(e)) + 1$
then $r(k(e)) := r(i(e)) + 1$.

$$T = O(|V| |E|), \quad \Pi = O(|V| + |E|)$$

Определение Нумерация вершин сети $G = (V, E)$ называется *правильной*, если для каждой дуги $e = (i(e), k(e)) \in E$ справедливо неравенство $i(e) < k(e)$.

Построение правильной нумерации вершин (*топологическая сортировка*)



В произвольном порядке нумеруем вершины ранга 1, затем ранга 2, и т.д.

Определение *Наиболее ранним моментом* свершения события x называется максимальный момент времени $T_p(x)$, раньше которого данное событие произойти не может.

Обозначим через L_{sx} длину максимального пути из s в x во взвешенном графе $G = (V, E)$, $\tau(e) \geq 0$, $e \in E$. Тогда $T_p(x) = L_{sx}$.

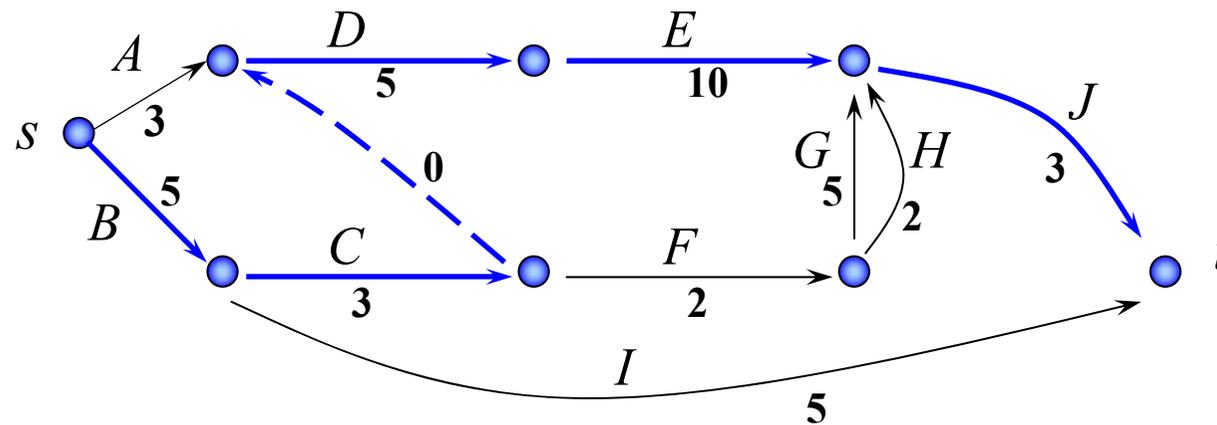
Рекуррентные соотношения

$$T_P(x) = \begin{cases} 0, & x = s \\ \max \{T_P(y) + \tau(yx) \mid (yx) \in E\}, & x \neq s \end{cases}$$

Упражнение Используя правильную нумерацию вершин, построить алгоритм вычисления всех величин $T_P(x)$ с трудоемкостью $T = O(|E|)$.

Критическое время проекта — наиболее раннее время завершения всего проекта, то есть $T_{Кр} = T_P(t)$.

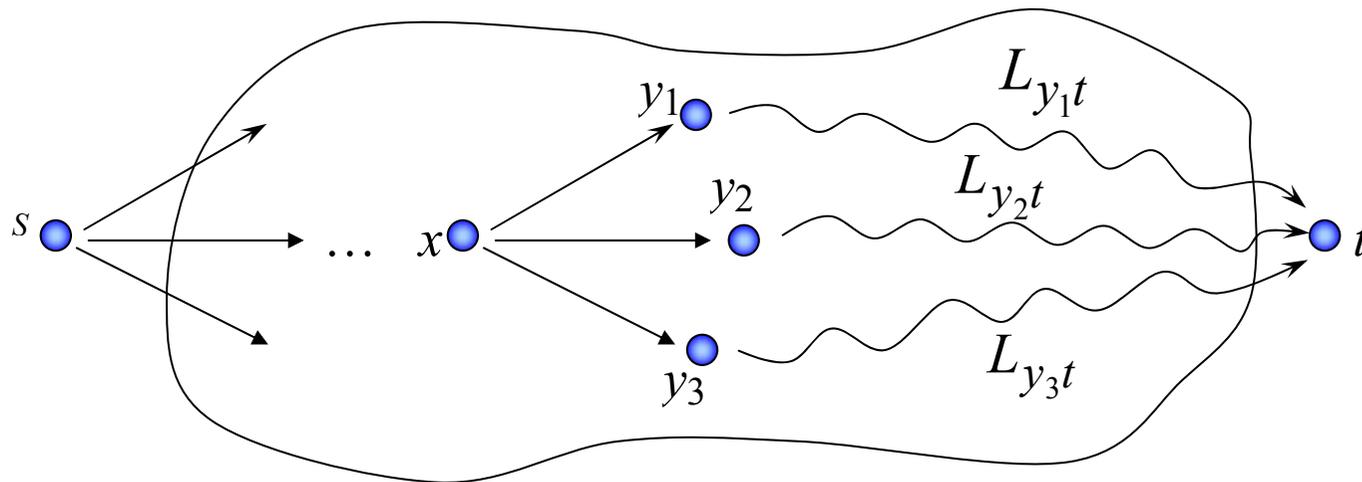
Определение Всякий путь в $G = (V, E)$, имеющий длину $T_{Кр}$ называется *критическим*. Работы и события, лежащие на критическом пути, называются *критическими*.



Определение *Наиболее поздним моментом* $T_{\Pi}(x)$ свершения события x называется максимально возможный момент свершения события x , не приводящий к увеличению T_{Kp} . Легко заметить, что $T_{\Pi}(x) = T_{Kp} - L_{xt}$.

Рекуррентные соотношения

$$T_{\Pi}(x) = \begin{cases} T_{Kp}, & x = t \\ \min\{T_{\Pi}(y) - \tau(x, y) \mid (x, y) \in E\}, & x \neq t \end{cases}$$



Упражнение Построить алгоритм вычисления величин $T_{\Pi}(x)$ с $T=O(|E|)$.

Определение *Полным резервом времени* для работы $e = (i, k) \in E$ называется величина $T_{\Pi}(k) - T_P(i) - \tau(e)$.

Теорема Необходимым и достаточным условием принадлежности работы критическому пути является равенство нулю ее полного резерва времени.

Доказательство Необходимость. Пусть дуга $e = (i, k)$ является критической. Тогда

$$L_{si} + \tau(e) + L_{kt} = L_{Kp}$$

$$\text{и } (T_{Kp} - L_{kt}) - L_{si} - \tau(e) = 0,$$

$$\text{но } T_{Kp} - L_{kt} = T_{\Pi}(k) \text{ и } L_{si} = T_P(i),$$

откуда и следует доказательство теоремы. Достаточность доказывается аналогично. ■

Следствие Событие x является критическим, если и только если

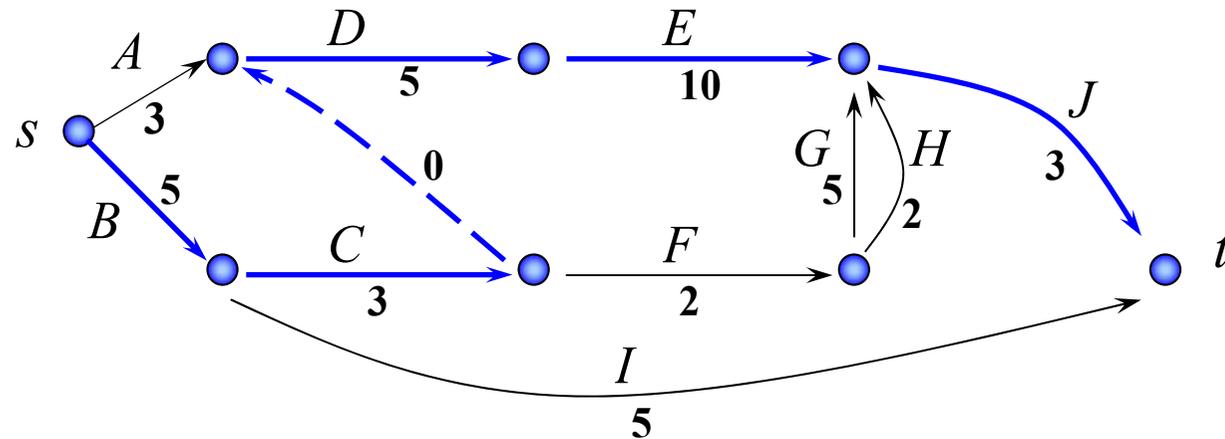
$$T_P(x) = T_{\Pi}(x).$$

Стратегический анализ

Критический путь B, C, D, E, J . Длина пути $T_{Кр} = 26$.

Работа J — обучение персонала. Работа E — ремонт помещений.

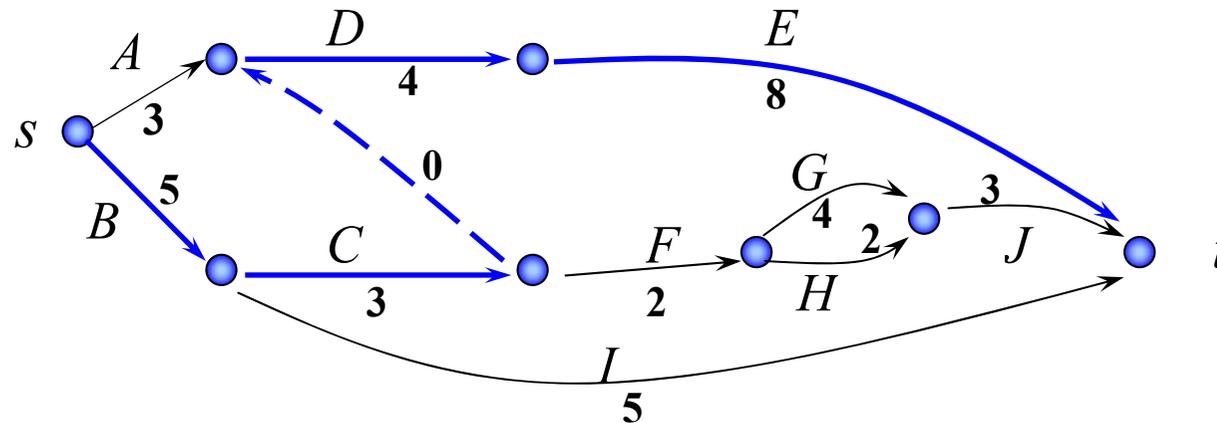
Можно обучать персонал в учебном центре и убрать предшествование E для J . Длительности работ можно сократить, если привлечь дополнительные средства.



Новая сетевая модель

Сократили длительности работ D , E , G и удалили работу E из предшественников работы J . Новый критический путь B, C, D, E .

Длина пути $T_{Kp} = 20$.



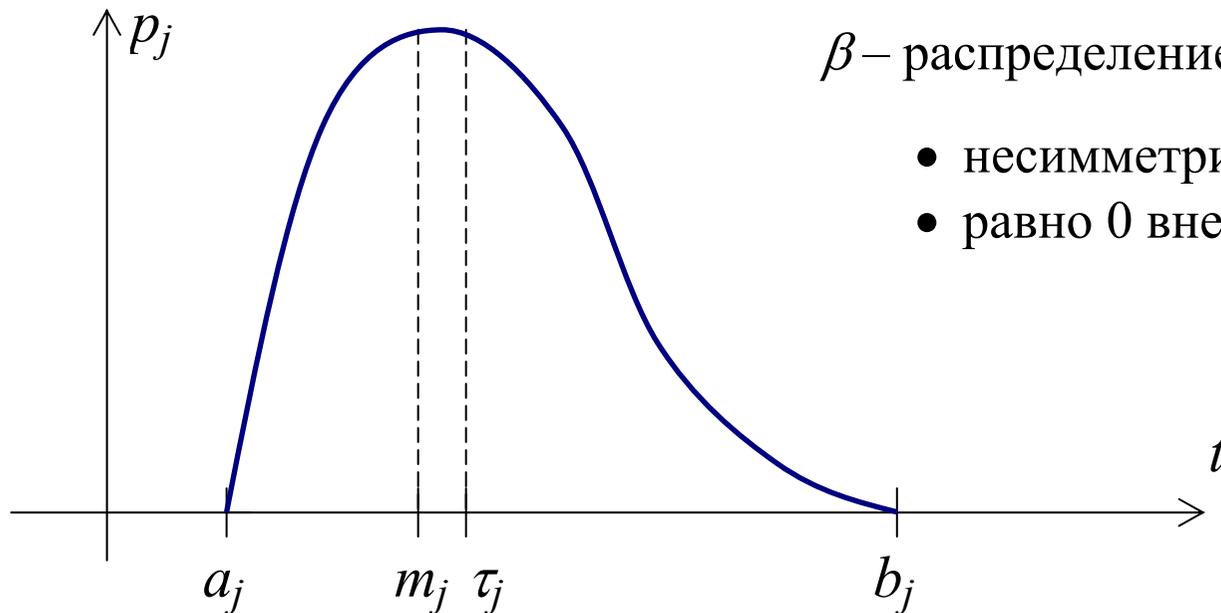
Вероятностная модель

Для каждой работы $j \in J$ кроме τ_j — длительности выполнения (в среднем) зададим три величины:

a_j — оптимальное время завершения;

m_j — наиболее вероятное время завершения;

b_j — пессимистическое время завершения.



β – распределение

- несимметричное
- равно 0 вне интервала $[a, b]$

Оценка параметров для β -распределения

Для работы j среднее значение $\tau_j \approx \frac{(a_j + 4m_j + b_j)}{6}$, дисперсия $\sigma_j \approx \left(\frac{b_j - a_j}{6}\right)^2$,

стандартное отклонение $\sqrt{\sigma_j} \approx \frac{b_j - a_j}{6}$.

j	a	m	b	Среднее	Ст. отклонение	Дисперсия
A	1	3	5	3	2/3	4/9
B	3	4,5	9	5	1	1
C	2	3	4	3	1/3	1/9
D	2	4	6	4	2/3	4/9
E	4	7	16	8	2	4
F	1	1,5	5	2	2/3	4/9
G	2,5	3,5	7,5	4	5/6	25/36
H	1	2	3	2	1/3	1/9
I	4	5	6	5	1/3	1/9
J	1,5	3	4,5	3	1/2	1/4

Вероятность завершения проекта к заданному сроку

Предполагаем, что

- длительности работ являются независимыми случайными величинами;
- случайная величина \tilde{T}_{Kp} имеет нормальное распределение.

Требуется оценить $Prob\{\tilde{T}_{Kp} \leq T^*\}$ для любого T^* .

Пример Берем критический путь B, C, D, E и считаем дисперсию для \tilde{T}_{Kp} .

$\sigma(\tilde{T}_{Kp}) = \sigma(B) + \sigma(C) + \sigma(D) + \sigma(E) = 1 + \frac{1}{3} + \frac{4}{9} + 4 = \frac{52}{9}$. Стандартное откло-

нение $\sqrt{\sigma(\tilde{T}_{Kp})} = \sqrt{\frac{52}{9}} = 2,404$. Итак, \tilde{T}_{Kp} – нормально распределенная слу-

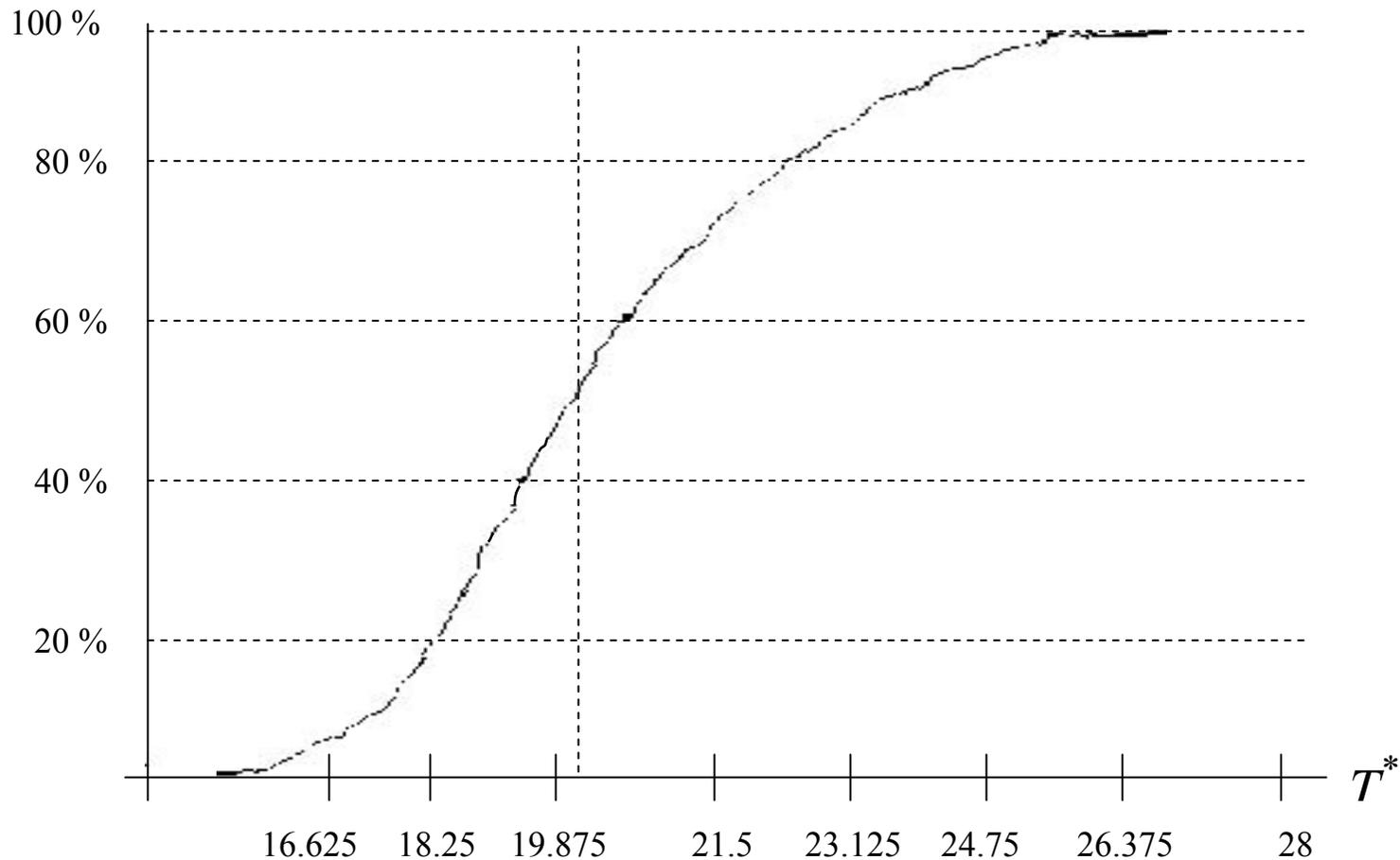
чайная величина с мат.ожиданием $T_{Kp} = 20$ и стандартным отклонением 2,404.

Тогда для $z = (\tilde{T}_{Kp} - T_{Kp}) / \sqrt{\sigma}$ при $T^* = 22$ получаем

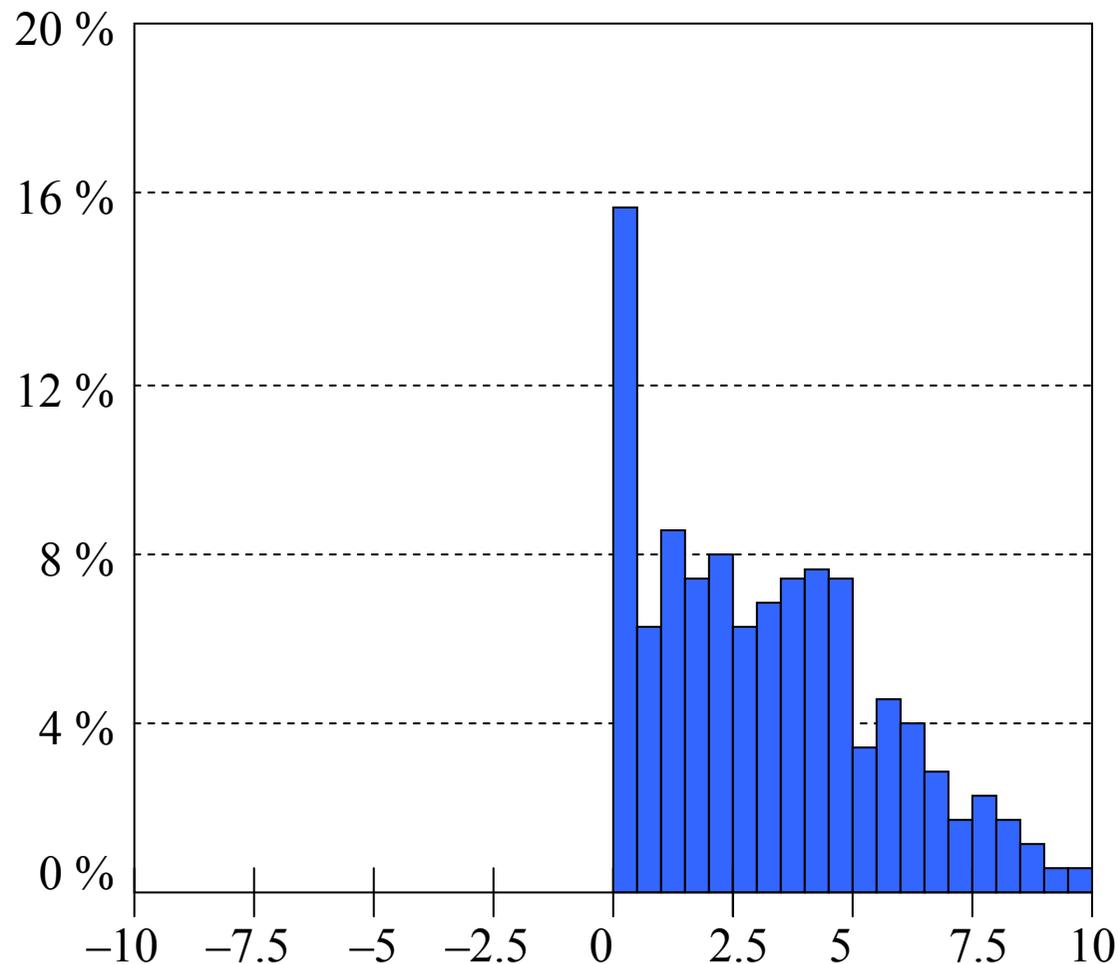
$$Prob\{\tilde{T}_{Kp} \leq T^*\} = Prob\left\{\frac{\tilde{T}_{Kp} - T_{Kp}}{\sqrt{\sigma}} \leq \frac{T^* - T_{Kp}}{\sqrt{\sigma}}\right\} = Prob\{z \leq 0,8319\} \approx 0,8.$$

Расчеты по имитационной модели

Функция распределения для вероятности окончания проекта к времени T^*
 $Prob\{\tilde{T}_{Кр} \leq T^*\}$



Распределение резерва времени для работы F



Полный резерв для работы F равен 3. Среднее значение полного резерва по имитационной модели 3,026, но большая дисперсия. Достаточно часто работа F оказывалась критической!

Заключение

При анализе проекта необходимо

1. построить диаграмму Гантта и сетевой график
2. посчитать среднюю длительность каждой работы ($\tau_j = (a_j + 4m_j + b_j) / 6$)
3. вычислить дисперсию ($\sigma_j = (b_j - a_j)^2 / 36$)

Используя полученные данные

1. найти критический путь и его длину
2. вычислить полный резерв времени для каждой работы
3. определить вероятность завершения работ в этом критическом пути для желаемого срока окончания проекта.

Если полученная вероятность слишком мала, то провести стратегический анализ проекта с целью сокращения критического пути за счет изменения условий предшествования и (или) длительностей работ.