

# Проектный менеджмент

An isometric illustration depicting a project management workflow. In the center, a large screen displays a Gantt chart. To the left, two people are at a whiteboard with a line graph. Below them, a person sits on the floor with a laptop. In the foreground, hands type on a keyboard. To the right, a person sits at a desk with multiple monitors, and another person stands next to them. Further right, a person sits at a desk with a laptop, and another person stands next to them. In the bottom right, a person sits on a stack of books labeled 'CODE', 'SQL', 'CSS', 'JS', 'C++', and 'C#'. A magnifying glass is at the top left, and a Wi-Fi symbol is on the left. A blue circle with the number '3' is in the top right corner.

3

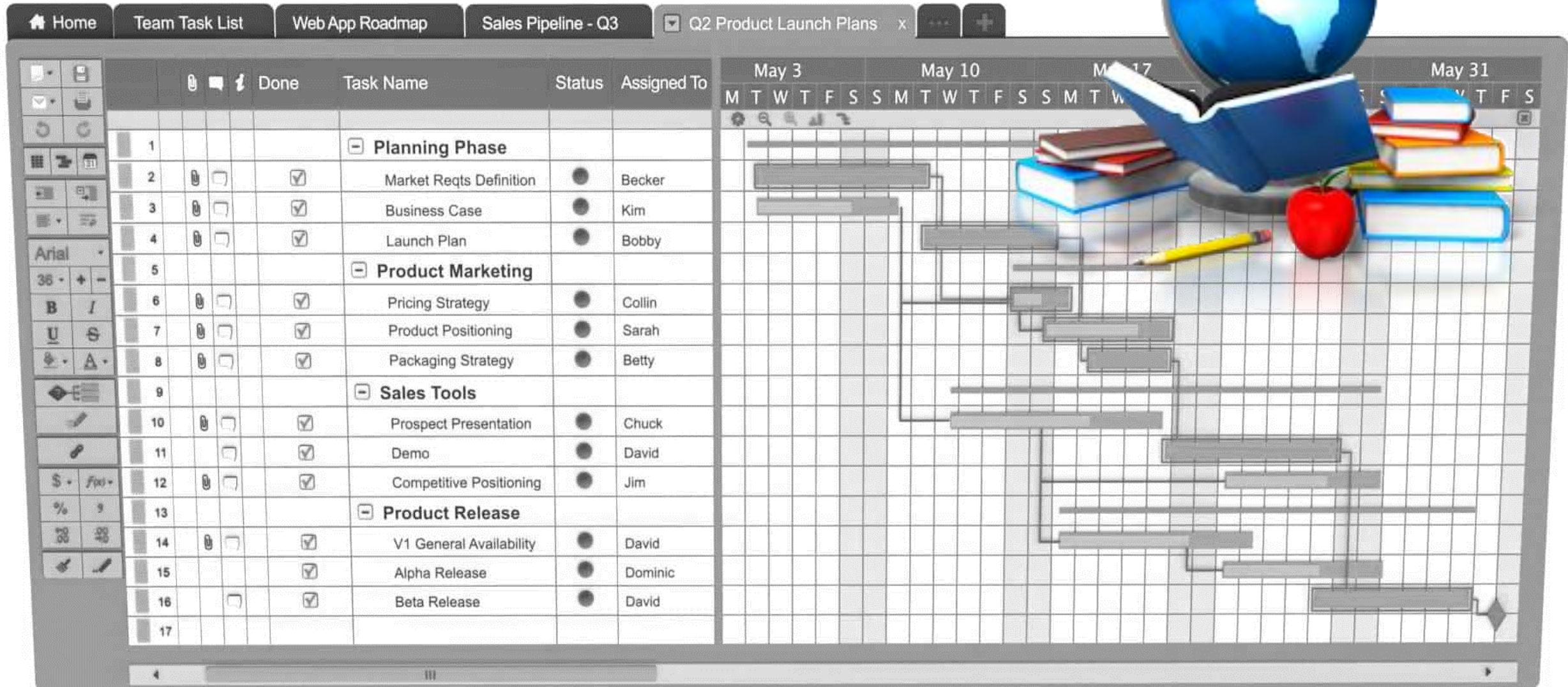
# ПРОЕКТ

- Проект – это уникальный набор процессов, состоящих из скоординированных и управляемых задач с начальной и конечной датами, предпринятых для достижения цели.

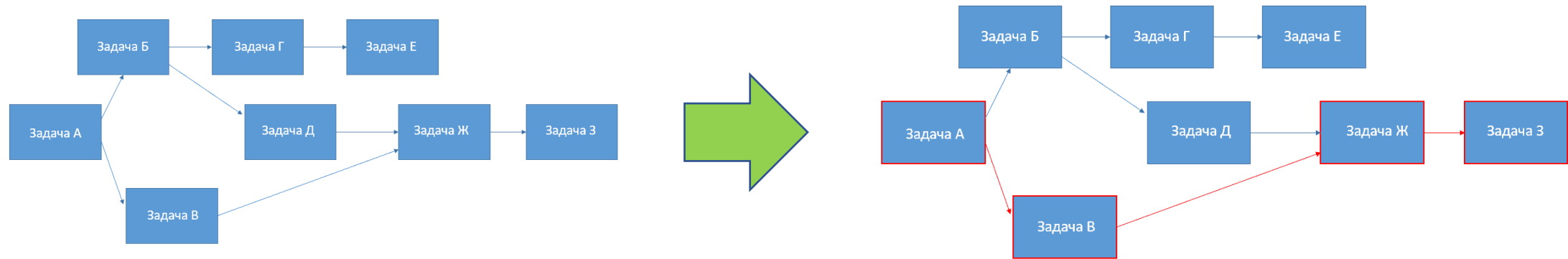
Достижение цели проекта требует получения результатов, соответствующих определенным заранее требованиям, в том числе ограничениям на получения результатов, таких как время, деньги и ресурсы.



# Лекция №3

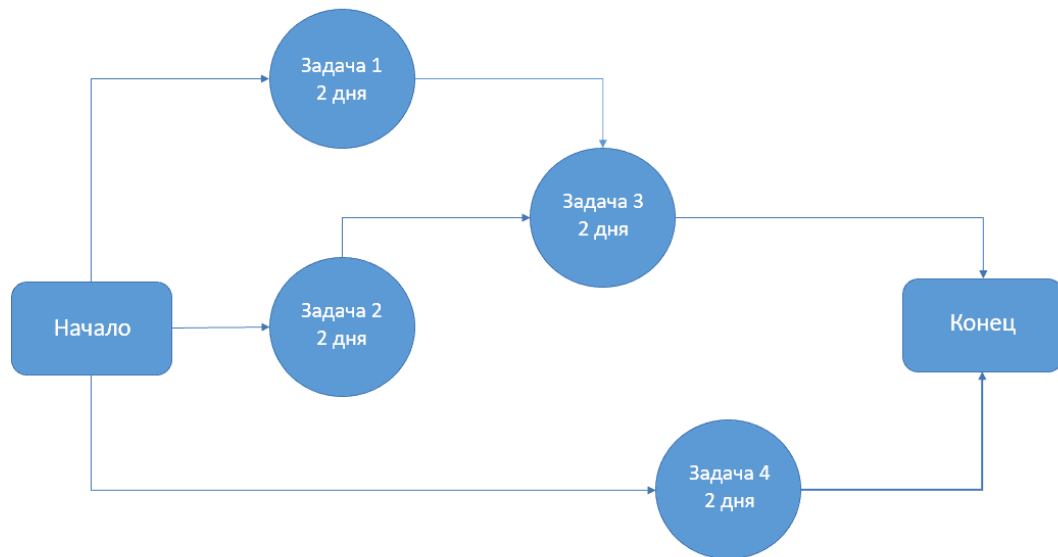


# Метод Критического Пути - СРМ



- Пошаговая методика управления проектами для определения действий на критическом пути.
- Методика проектного менеджмента в котором критическим путём называется "последовательность запланированных мероприятий, определяющих длительность проекта".
- Критический путь - наиболее длинная последовательность задач в плане проекта, которую необходимо выполнить в срок для завершения проекта к требуемой дате

# Метод PERT



$$t_e = \frac{1}{6}(t_o + 4t_m + t_p)$$

$t_o$  – минимальное возможная длительность выполнения задачи

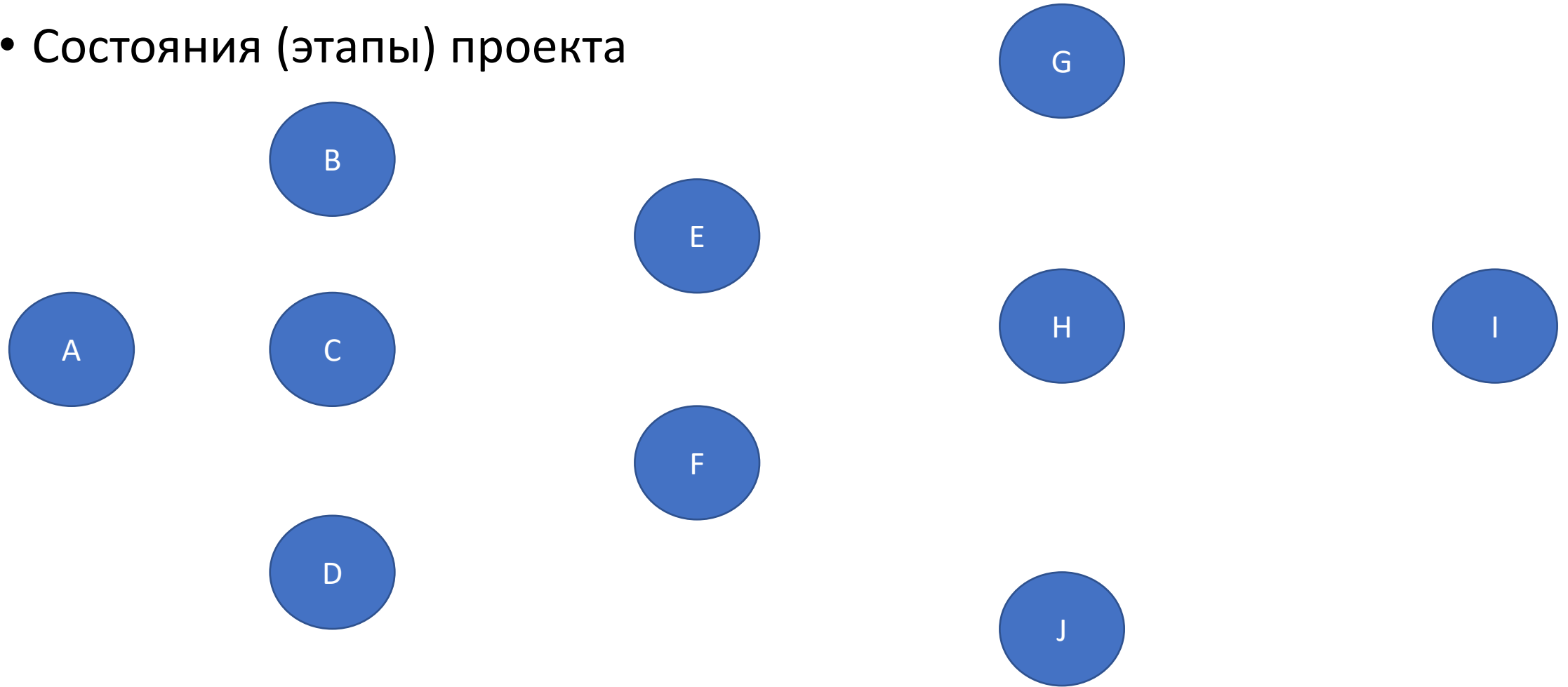
$t_p$  – максимально возможная длительность

$t_m$  – длительность выполнения задачи в предположении, что всё происходит так, как бывает чаще всего (как обычно)

- Диаграмма PERT — это визуальное отображение плана проекта, на котором показана последовательность задач и возможность их одновременного выполнения.
- Диаграмма PERT строится на основании той же информации, которая используется в методе критического пути, например, самая ранняя и поздняя даты начала, самая ранняя и поздняя даты завершения, а также запас времени между задачами.
- Разница между методом критического пути и PERT состоит в оценке времени: В методе PERT придаётся вес наиболее реалистичному времени завершения ( $t_e$ ).

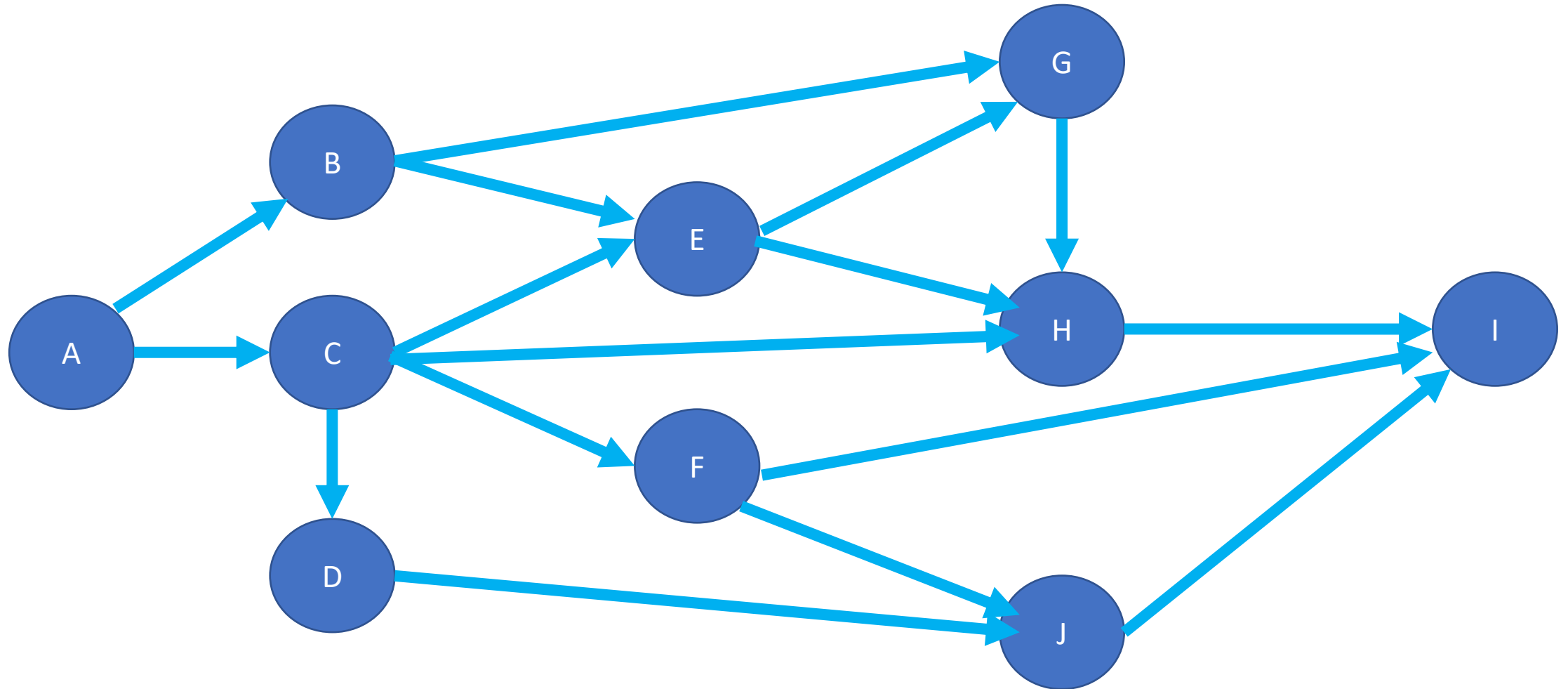
# CPM, PERT – единый вид взаимосвязей работ и событий

- Состояния (этапы) проекта



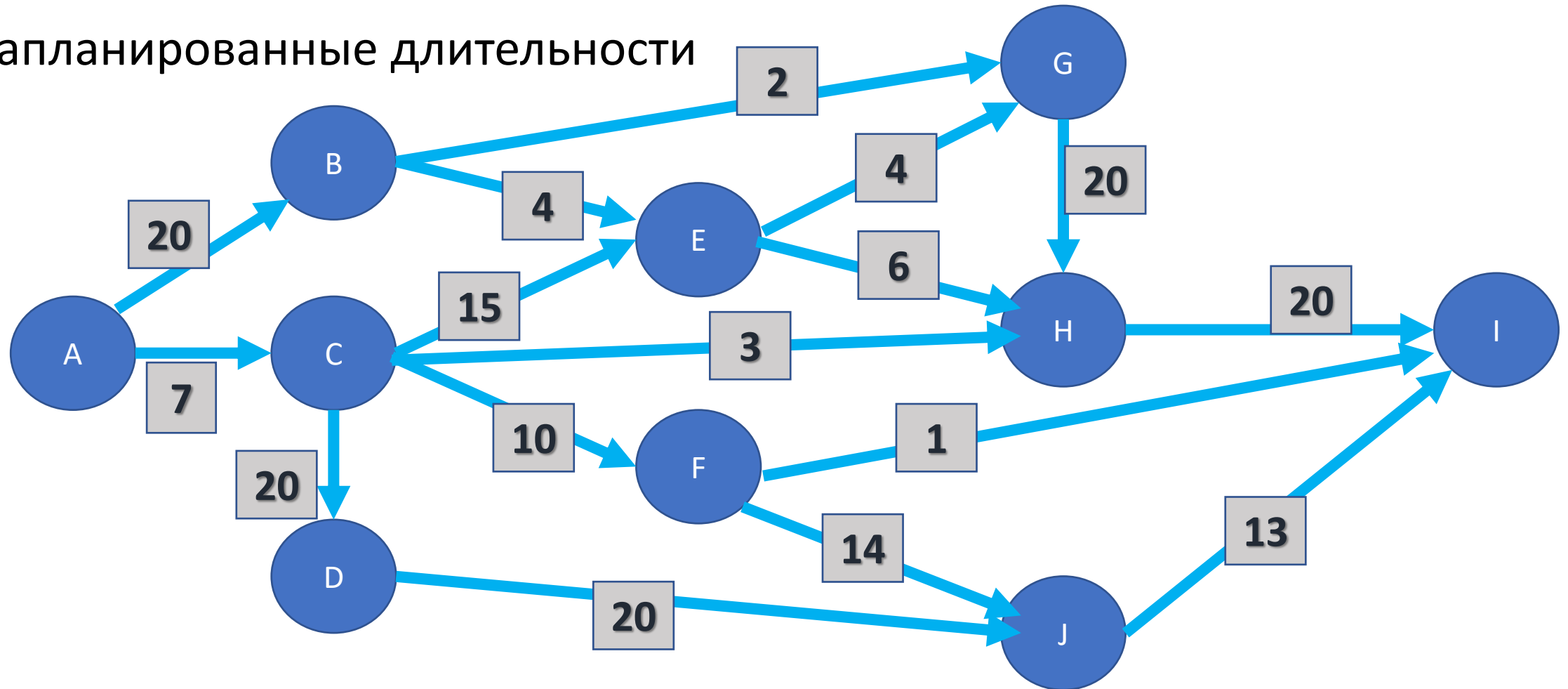
# CPM, PERT – единый вид взаимосвязей работ и событий

- Работы – переходы от одного состояния к другому



# CPM, PERT – единый вид взаимосвязей работ и событий

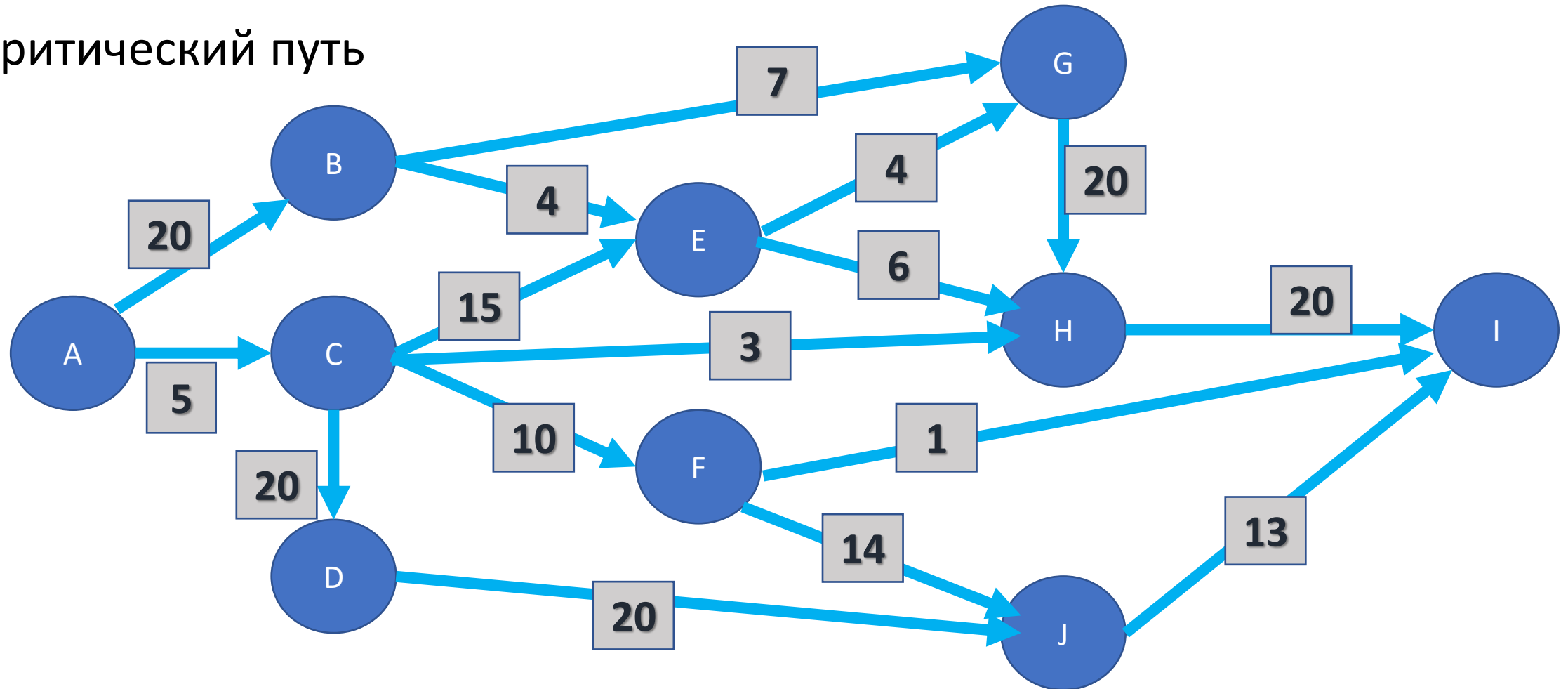
- Запланированные длительности





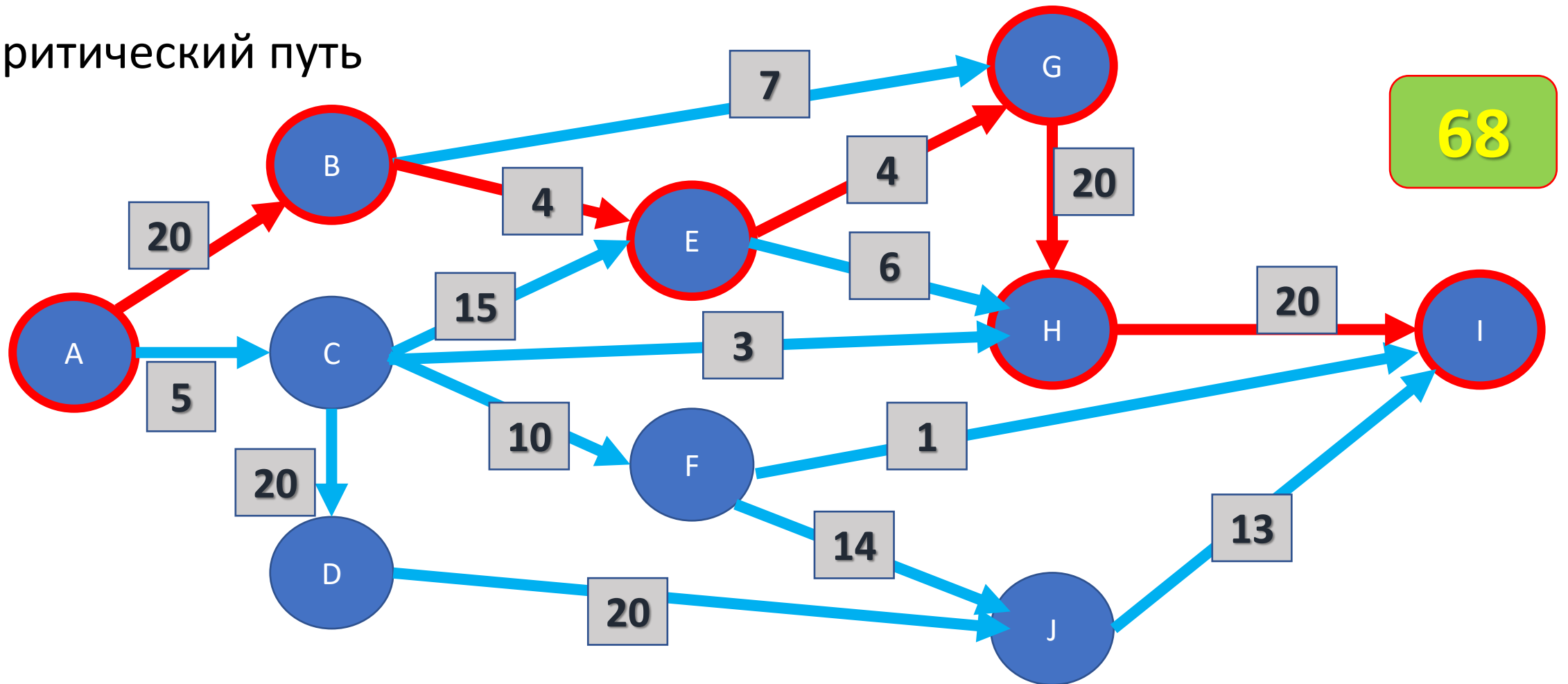
# CPM, PERT – единый вид взаимосвязей работ и событий

- Критический путь



# CPM, PERT – единый вид взаимосвязей работ и событий

- Критический путь



# Использование Критического Пути

- **ПРИМЕР.** Описание «проекта» в виде перечня выполняемых операций с указанием их взаимосвязи .

Исходные данные:

- Описание в виде таблицы.

Задачи:

- Построить сетевой график,
- Определить критический путь,
- Построить календарный график.

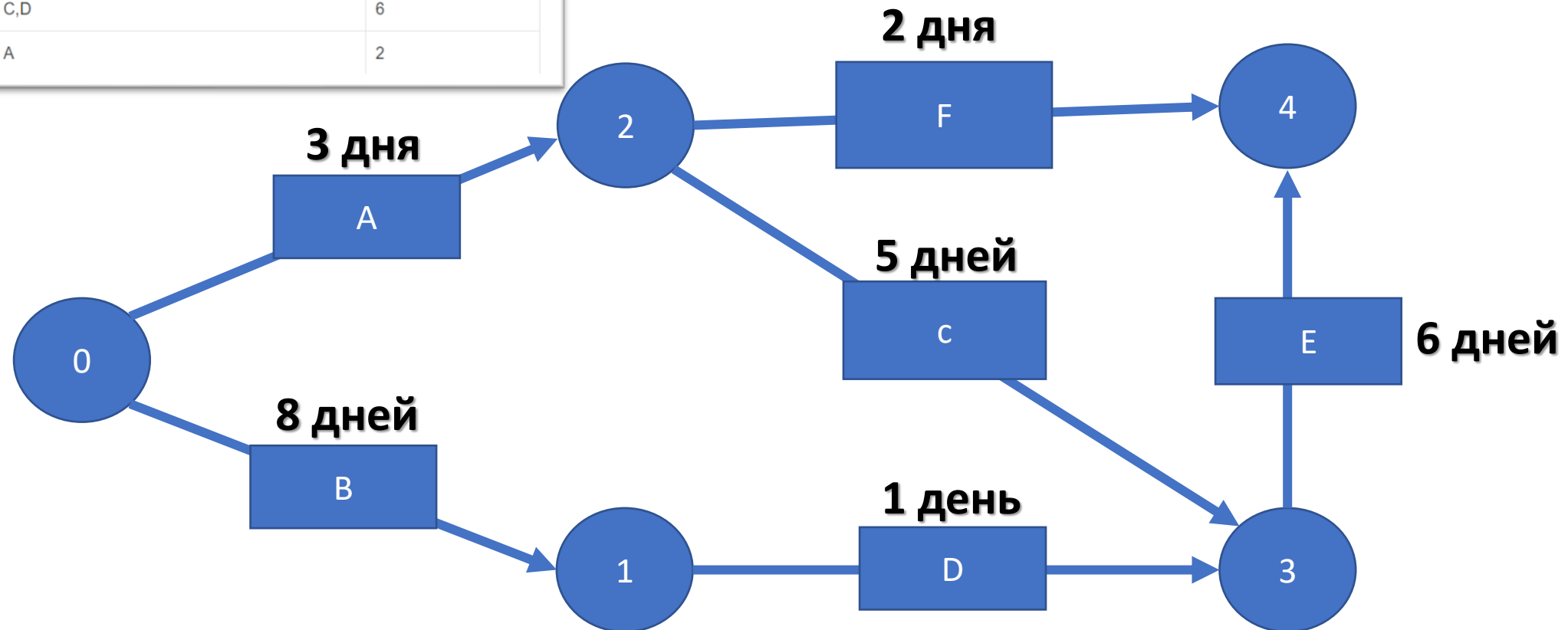
Исходные данные:  
Описание в виде таблицы.

Операция	Непосредственно предшествующая операция	Продолжительность
A	-	3
B	-	8
C	A	5
D	B	1
E	C,D	6
F	A	2

Задача 1: Построить сетевой график

# Сетевой график в соответствии с таблицей

Операция	Непосредственно предшествующая операция	Продолжительность
A	-	3
B	-	8
C	A	5
D	B	1
E	C,D	6
F	A	2

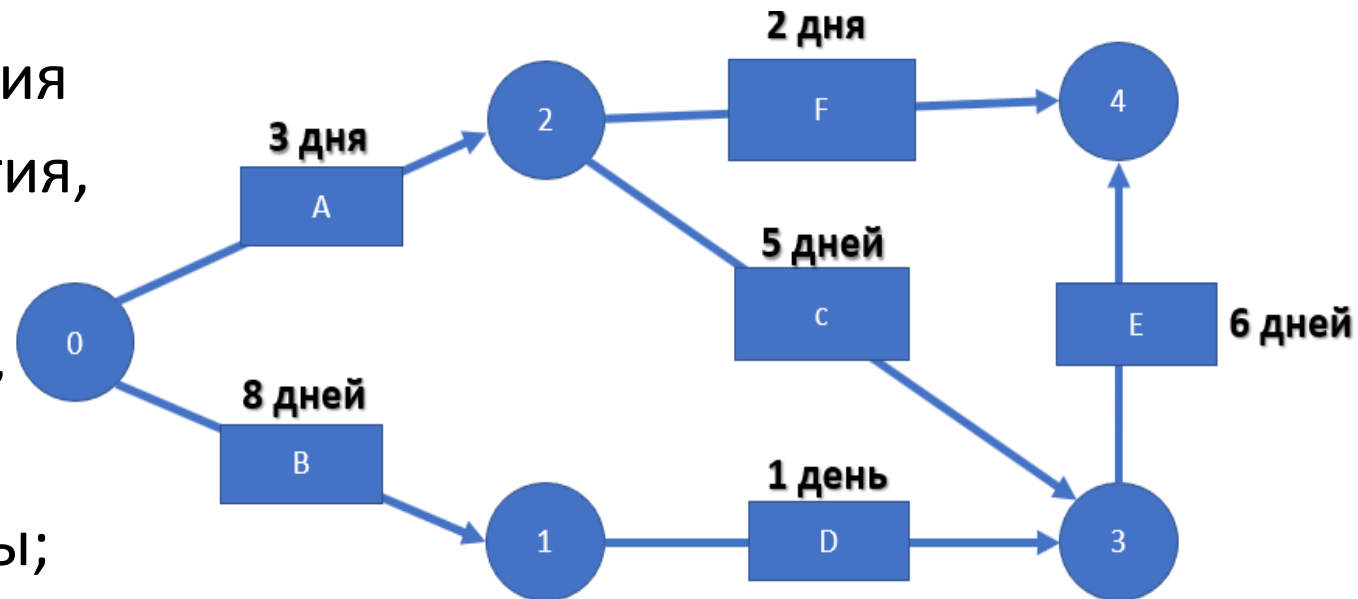




# Сетевая модель: Параметры

## Параметры сетевой модели:

- Ранний срок совершения события
- Поздний срок свершения события,
- Ранний срок начала работы,
- Ранний срок окончания работы,
- Поздний срок начала работы,
- Поздний срок окончания работы;
- Резерв времени на свершение события,
- Полный резерв времени,
- Свободный резерв времени;
- Подолжительность критического пути;



# (Обозначения параметров сетевой модели)

- $t_j^p$  — ранний срок свершения  $j$ -го события;
- $t_j^n$  — поздний срок свершения  $j$ -го события;
- $R_j$  — резерв времени на свершение  $j$ -го события;
- $t_{ij}^{p.H}$  — ранний срок начала работы  $(i,j)$ ;
- $t_{ij}^{p.O}$  — ранний срок окончания работы  $(i,j)$ ;
- $t_{ij}^{п.H}$  — поздний срок начала работы  $(i,j)$ ;
- $t_{ij}^{п.O}$  — поздний срок окончания работы  $(i,j)$ ;
- $r_{ij}^П$  — полный резерв времени работы  $(i,j)$ ;
- $r_{ij}^{C.B}$  — свободный резерв времени работы  $(i,j)$ ,
- $k_{ij}^H$  — коэффициент напряженности работы  $(i,j)$ ;
- $T_П$  — продолжительность пути ЛП;  $T_П = t(L_П)$ ;
- $T_{КР}$  — продолжительность критического пути  $L_{КР}$ ;
- $R_{(L_П)}$  — полный резерв времени пути Лп.

Ранний срок совершения  $j$ -го события  $t_j^p$  — наиболее ранний (минимальный) из возможных моментов наступления данного события при заданной продолжительности работ.

Поздний срок свершения  $j$ -го события  $t_j^n$  — наиболее поздний (максимальный) из допустимых моментов наступления данного события, при котором еще возможно выполнение всех последующих работ в установленный срок.

Резерв времени на совершение  $j$ -го события  $R_j$  — это промежуток времени, на который может быть отсрочено наступление события  $j$  без нарушения сроков завершения всего комплекса, определяется как разность между поздним  $t_j^n$  и ранним  $t_j^p$  сроками наступления события  $R_j = t_j^n - t_j^p$ .

Ранний срок начала работы  $t_{ij}^{P.H}$  — наиболее ранний (минимальный) из возможных моментов начала данной работы при заданной продолжительности работ. Он совпадает с ранним сроком наступления ее начального события:

$$t_{ij}^{P.H} = t_j^p$$

Ранний срок окончания работы  $t_{ij}^{P.O}$  — наиболее ранний (минимальный) из возможных моментов окончания данной работы при заданной продолжительности работ. Он превышает ранний срок наступления ее события  $i$  на величину продолжительности работы:

$$t_{ij}^{P.O} = t_i^P + t_{ij}$$

Поздний срок начала работы  $t_{ij}^{П.Н}$  — наиболее поздний (максимальный) из допустимых моментов начала данной работы, при котором еще возможно выполнение всех последующих работ в установленный срок:

$$t_{ij}^{П.Н} = t_j^П - t_{ij}$$

Поздний срок окончания работы  $t_{ij}^{П.O}$  — наиболее поздний (максимальный) из допустимых моментов окончания данной работы, при котором еще возможно выполнение последующих работ в установленный срок:

$$t_{ij}^{П.O} = t_j^П$$

Полный резерв времени работы (i,j)  $r_{ij}^{\Pi}$  — максимальное время, на которое можно отсрочить начало или увеличить продолжительность работы  $t_{ij}$  без изменения общего срока выполнения комплекса:

$$r_{ij}^{\Pi} = t_j^{\Pi} - t_i^P - t_{ij}$$

Свободный резерв времени работы (i,j)  $r_{ij}^{C.B}$  — максимальное время, на которое можно отсрочить начало или увеличить продолжительность работы при условии, что все события сети наступают в свои ранние сроки:

$$r_{ij}^{C.B} = t_j^P - t_i^P - t_{ij}$$

Полный резерв времени пути  $R_{(L_{\Pi})}$ , — показывает, на сколько могут быть увеличены продолжительности всех работ в сумме пути  $L_{\Pi}$  относительно критического пути  $L_{KP}$ :

$$R_{(L_{\Pi})} = t(L_{KP}) - t(L_{\Pi}) = T_{KP} - T_{\Pi}$$



Коэффициент напряженности работы (i,j)  $k_{ij}^H$  — характеризует напряженность по срокам выполнения работы (i,j) и определяется по формуле:

$$k_{ij}^H = (t(L_{\max}) - t'(L_{kp})) / (T_{kp} - t'(L_{kp}))$$

где  $t(L_{\max})$  - длительность максимального из некритических путей, проходящих через работу (i,j);

$t'(L_{kp})$  - продолжительность части критических работ, входящих в рассматриваемый путь  $L_{\max}$ .

Чем ближе коэффициент напряженности к 1,0, тем сложнее выполнять эту работу в установленные сроки.

**Независимый резерв времени работы  $R_{ij}^H$**  — часть полного резерва времени, если все предшествующие работы заканчиваются в поздние сроки, а все последующие работы начинаются в ранние сроки.

Использование независимого резерва времени не влияет на величину резервов времени других работ.

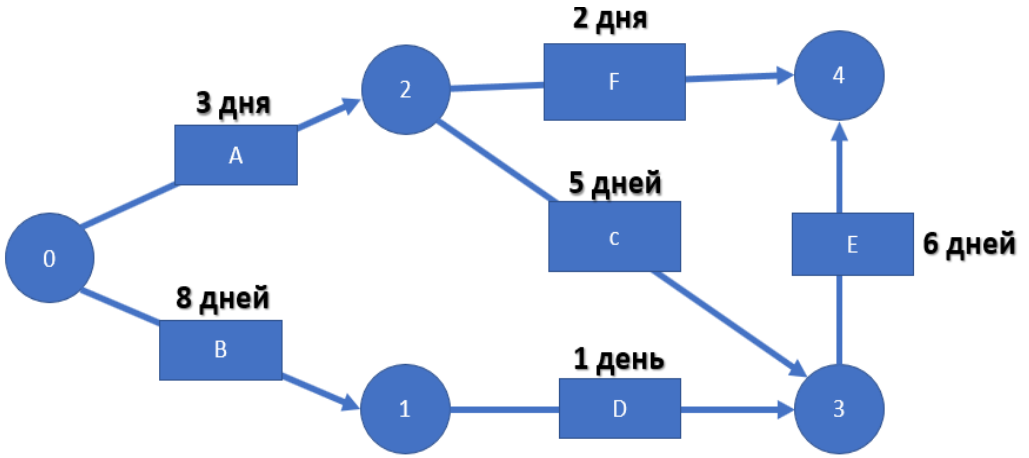
Независимые резервы стремятся использовать, если окончание предыдущей работы произошло в поздний допустимый срок, а последующие работы хотят выполнить в ранние сроки.

Если  $R_{ij}^H \geq 0$ , то такая возможность имеется.

Если  $R_{ij}^H < 0$  (величина отрицательна), то такая возможность отсутствует, так как предыдущая работа ещё не оканчивается, а последующая уже должна начаться (показывает время, которого не хватит у данной работы для выполнения ее к самому раннему сроку совершения ее (работы) конечного события при условии, что эта работа будет начата в самый поздний срок ее начального события).

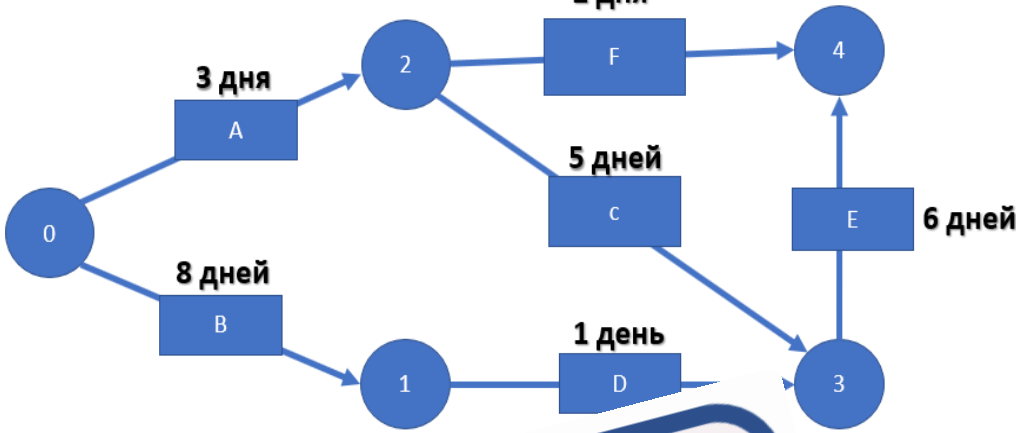
Фактически независимый резерв имеют лишь те работы, которые не лежат на максимальных путях, проходящих через их начальные и конечные события.

Операция	Непосредственно предшествующая операция	Продолжительность
A	-	3
B	-	8
C	A	5
D	B	1
E	C,D	6
F	A	2



Работа (i,j)	Количество предшествующих работ	Продолжительность $t_{ij}$	Ранние сроки: начало $t_{ij}^{P.H.}$	Ранние сроки: окончание $t_{ij}^{P.O.}$	Поздние сроки: начало $t_{ij}^{П.H.}$	Поздние сроки: окончание $t_{ij}^{П.O.}$	Резервы времени: полный $t_{ij}^П$	Резервы времени: свободный $t_{ij}^{C.B.}$	Резервы времени: событий $R_j$
(0,1)	0	8	0	8	0	8	0	0	0
(0,2)	0	3	0	3	1	4	1	0	1
(1,3)	1	1	8	9	8	9	0	0	0
(2,3)	1	5	3	8	4	9	1	1	0
(2,4)	1	2	3	5	13	15	10	10	0
(3,4)	2	6	9	15	9	15	0	0	0

Операция	Непосредственно предшествующая операция	Продолжительность
A	-	3
B	-	8
C	A	5
D	B	1
E	C,D	6
F	A	2



Работа (i,j)	Количество предшествующих работ	Продолжительность $t_{ij}$	Ранние сроки: начало $t_{ij}^{P.H.}$	Ранние сроки: окончание $t_{ij}^{P.K.}$	Поздние сроки: начало $t_{ij}^{P.H.}$	Поздние сроки: окончание $t_{ij}^{P.K.}$	Резервы времени: $\Delta t_{ij}$
(0,1)	0	8					0
(0,2)	0	3					1
(1,3)	1	1	8	9	9	10	0
(2,4)	2	2	11	13	13	15	0
(2,3)	2	5	11	16	13	18	0
(3,4)	3	6	15	21	15	21	0

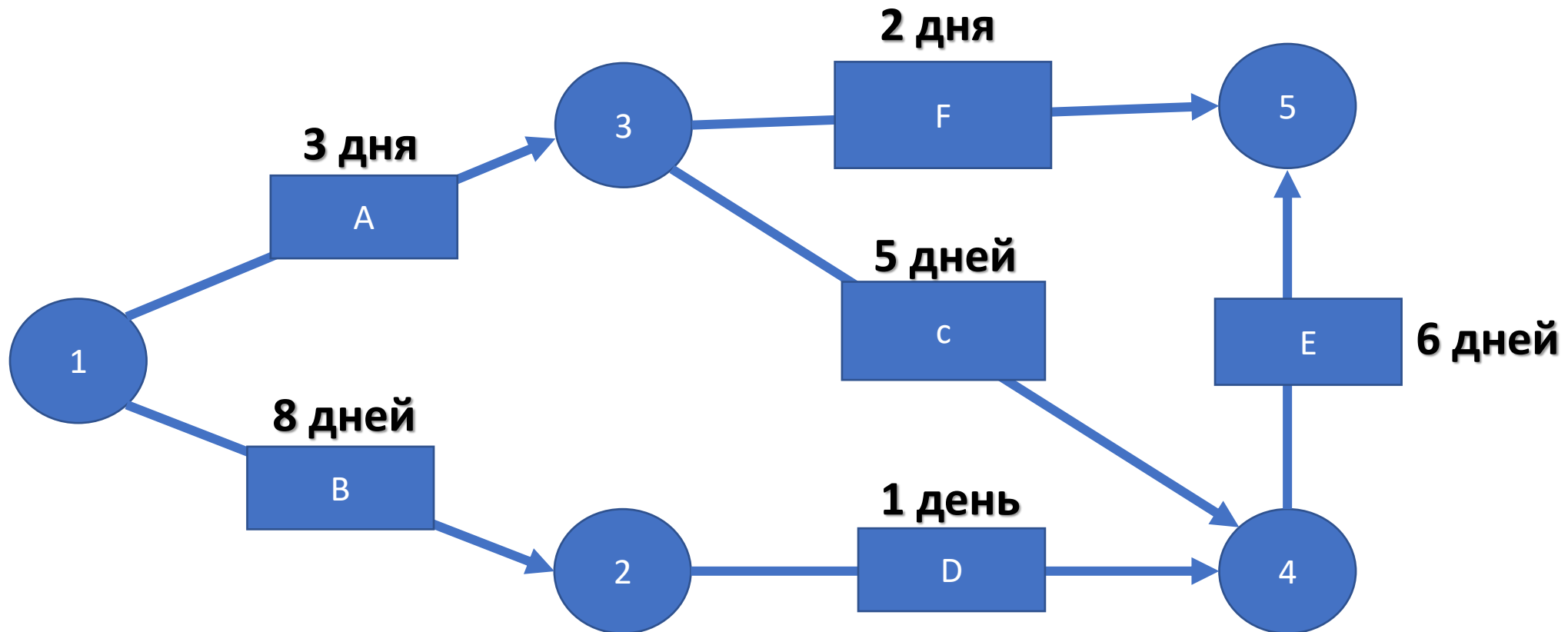
Критический путь:  **$(0,1)(1,3)(3,4)$** .  
Продолжительность критического пути: 15.

# Табличный метод расчета параметров сетевого графика

Операция	Непосредственно предшествующая операция	Продолжительность
A	-	3
B	-	8
C	A	5
D	B	1
E	C,D	6
F	A	2



# Сетевой график в соответствии с таблицей

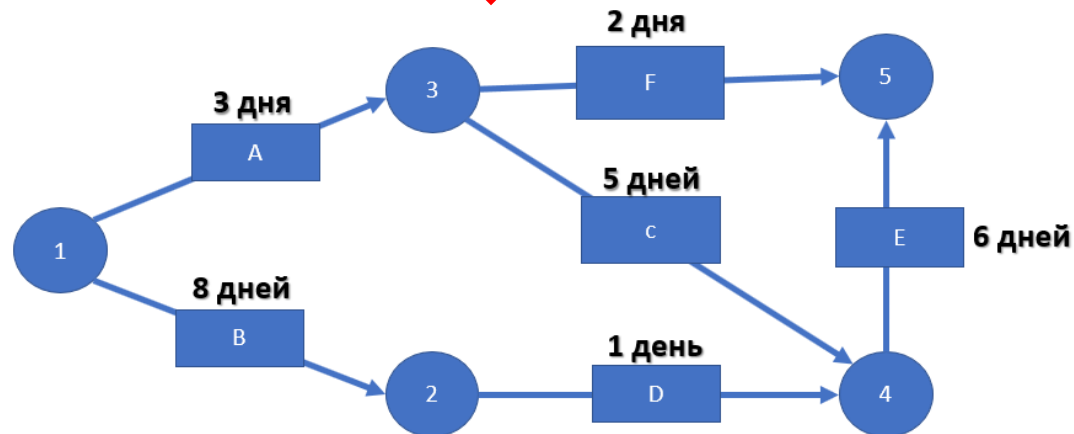


# Параметры модели сетевого графика

Элемент сети	Наименование параметра	Условное обозначение параметра
Событие $i$	Ранний срок свершения события	$tp(i)$
	Поздний срок свершения события	$t(i)$
	Резерв времени события	$R(i)$
Работа $(i, j)$	Продолжительность работы	$t(i,j)$
	Ранний срок начала работы	$t^{рн}(i,j)$
	Ранний срок окончания работы	$t^{ро}(i,j)$
	Поздний срок начала работы	$t^{пн}(i,j)$
	Поздний срок окончания работы	$t^{по}(i,j)$
	Полный резерв времени работы	$R^n(i,j)$
Путь $L$	Продолжительность пути	$t(L)$
	Продолжительность критического пути	$t_{кр}$
	Резерв времени пути	$R(L)$

# Табличный метод расчета параметров сетевого графика

Операция	Непосредственно предшествующая операция	Продолжительность
A	-	3
B	-	8
C	A	5
D	B	1
E	C,D	6
F	A	2



**Работа (i,j)**      **Продолжительность работы**

i	j		
1 ~ 2 ~		8	B
1 ~ 3 ~		3	A
2 ~ 4 ~		1	D
3 ~ 4 ~		5	C
4 ~ 5 ~		6	E
3 ~ 5 ~		2	F

Важнейшим показателем сетевого графика являются резервы времени.

Резервы времени каждого пути показывают, на сколько может быть увеличена продолжительность данного пути без ущерба для наступления завершающего события.

Поскольку каждый некритический путь сетевого графика имеет свой полный резерв времени, то и каждое событие этого пути имеет свой резерв времени.

- **Решение.**

**Резерв времени события** показывает, на какой допустимый период времени можно задержать наступление этого события, не вызывая при этом увеличения срока выполнения комплекса работ.

- Для определения **резервов времени по событиям** сети рассчитывают наиболее ранние  $t^p$  и наиболее поздние  $t^n$  сроки свершения событий.
- Любое событие не может наступить прежде, чем свершиться все предшествующие ему события и не будут выполнены все предшествующие работы.
- Поэтому ранний (или ожидаемый) срок  $tp(i)$  свершения  $i$ -ого события определяется продолжительностью максимального пути, предшествующего этому событию:

$$t^p(i) = \max(t(L_{ni}))$$

где  $L_{ni}$  – любой путь, предшествующий  $i$ -ому событию, то есть путь от исходного до  $i$ -ого события сети.



Если событие  $j$  имеет несколько предшествующих путей, а следовательно, несколько предшествующих событий  $i$ , то **ранний срок свершения события  $j$**  удобно находить по формуле:

$$t^p(j) = \max[t^p(i) + t(i,j)]$$

Задержка свершения события  $i$  по отношению к своему раннему сроку не отразится на сроке свершения завершающего события (а значит, и на сроке выполнения комплекса работ) до тех пор, **пока сумма срока свершения этого события и продолжительности (длины) максимального из следующих за ним путей не превысит длины критического пути.**

Поэтому **поздний (или предельный) срок  $t^n(i)$  свершения  $i$ -ого события** равен:

$$t^n(i) = t_{кр} - \max(t(L_{ci}))$$

где  $L_{ci}$  - любой путь, следующий за  $i$ -ым событием, т.е. путь от  $i$ -ого до завершающего события сети.

Если событие  $i$  имеет несколько последующих путей, а следовательно, несколько последующих событий  $j$ , то **поздний срок свершения события  $i$**  удобно находить по формуле:

$$t^n(i) = \min[t^n(j) - t(i,j)]$$

**Резерв времени  $R(i)$   $i$ -ого события** определяется как разность между поздним и ранним сроками его свершения:

$$R(i) = t^n(i) - t^p(i)$$

**Резерв времени события** показывает, на какой допустимый период времени можно задержать наступление этого события, не вызывая при этом увеличения срока выполнения комплекса работ.

**Критические события резервов времени не имеют**, так как любая задержка в свершении события, лежащего на критическом пути, вызовет такую же задержку в свершении завершающего события. Таким образом, **определив ранний срок наступления завершающего события сети, мы тем самым определяем длину критического пути**

# Расчет сроков свершения событий

Для  $i=1$  (начального события), очевидно  $tp(1)=0$ .

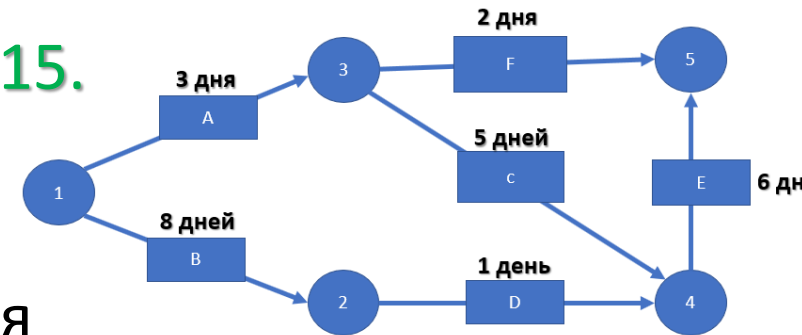
$$i=2: tp(2) = tp(1) + t(1,2) = 0 + 8 = 8.$$

$$i=3: tp(3) = tp(1) + t(1,3) = 0 + 3 = 3.$$

$$i=4: \max(tp(2) + t(2,4); tp(3) + t(3,4)) = \max(8 + 1; 3 + 5) = 9.$$

$$i=5: \max(tp(3) + t(3,5); tp(4) + t(4,5)) = \max(3 + 2; 9 + 6) = 15.$$

i	j	min	
1 ~ 2 ~		8	В
1 ~ 3 ~		3	А
2 ~ 4 ~		1	Д
3 ~ 4 ~		5	С
4 ~ 5 ~		6	Е
3 ~ 5 ~		2	Ф



Длина критического пути равна раннему сроку свершения завершающего события 5:  $t_{кр}=tp(5)=15$

# Расчет сроков свершения событий (2)

При определении поздних сроков свершения событий  $t_n(i)$  «двигаемся» по сети в обратном направлении, то есть справа налево и используем формулы

$$t^n(i) = t_{кр} - \max(t(L_{ci})) \text{ или } t^n(i) = t_{кр} - \max(t(L_{ci}))$$

Для  $i=5$  (завершающего события) поздний срок свершения события должен равняться его раннему сроку (иначе изменится длина критического пути):

$$t^n(5) = t^p(5) = 15$$

Далее просматриваются строки, оканчивающиеся на номер предпоследнего события, т.е. 4. Просматриваются все строчки, начинающиеся с номера 4.

$$i=4: t^n(4) = t^n(5) - t(4,5) = 15 - 6 = 9.$$

# Расчет сроков свершения событий (3)

Далее просматриваются строки, оканчивающиеся на номер предпоследнего события, т.е. 3. Просматриваются все строчки, начинающиеся с номера 3.

$$i=3: \min(t^n(4) - t(3,4); t^n(5) - t(3,5)) = \min(9 - 5; 15 - 2) = 4.$$

Далее просматриваются строки, оканчивающиеся на номер предпоследнего события, т.е. 2. Просматриваются все строчки, начинающиеся с номера 2.

$$i=2: t^n(2) = t^n(4) - t(2,4) = 9 - 1 = 8.$$

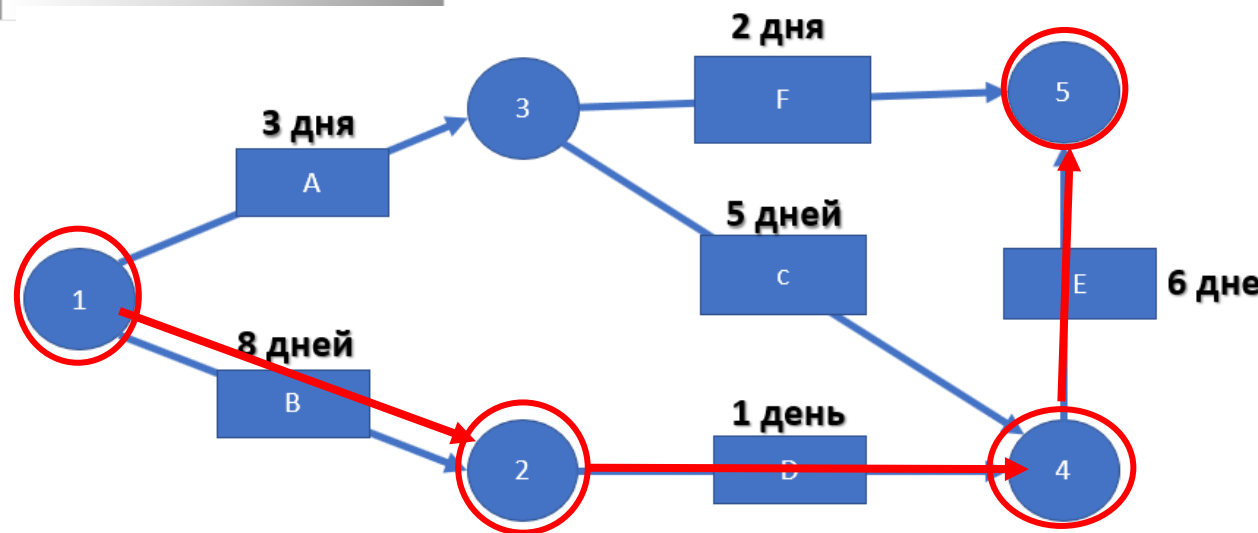
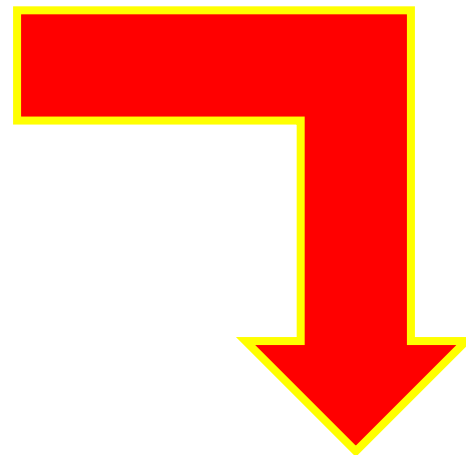
Далее просматриваются строки, оканчивающиеся на номер предпоследнего события, т.е. 1. Просматриваются все строчки, начинающиеся с номера 1.

$$i=1: \min(t^n(2) - t(1,2); t^n(3) - t(1,3)) = \min(8 - 8; 4 - 3) = 0.$$

# Таблица 1 - Расчет резерва событий

Номер события	Сроки свершения события: ранний $t^p(i)$	Сроки свершения события: поздний $t^n(i)$	Резерв времени, $R(i)$
1		0	0
2	8	8	0
3	3	4	1
4	9	9	0
5	15	15	0

Номер события	Сроки свершения события: ранний $t^p(i)$	Сроки свершения события: поздний $t^n(i)$	Резерв времени, $R(i)$
1		0	0
2	8	8	0
3	3	4	1
4	9	9	0
5	15	15	0



# Результат табличного расчета сетевого графика

Работа (i,j)	Количество предшествующих работ	Продолжительность $t_{ij}$	Ранние сроки: начало $t_{ij}^{p.n.}$	Ранние сроки: окончание $t_{ij}^{p.o.}$	Поздние сроки: начало $t_{ij}^{п.н.}$	Поздние сроки: окончание $t_{ij}^{п.о.}$	Резервы времени: полный $R_{ij}^п$	Независимый резерв времени $R_{ij}^н$	Частный резерв I рода, $R_{ij}^1$	Частный резерв II рода, $R_{ij}^c$
(1,2)	0	8	0	8	0	8	0	0	0	0
(1,3)	0	3	0	3	1	4	1	0	1	0
(2,4)	1	1	8	9	8	9	0	0	0	0
(3,4)	1	5	3	8	4	9	1	0	0	1
(3,5)	1	2	3	5	13	15	10	9	9	10
(4,5)	2	6	9	15	9	15	0	0	0	0



# Задания к КМ2

<http://mpei-ivti-vt.site/PM2023>

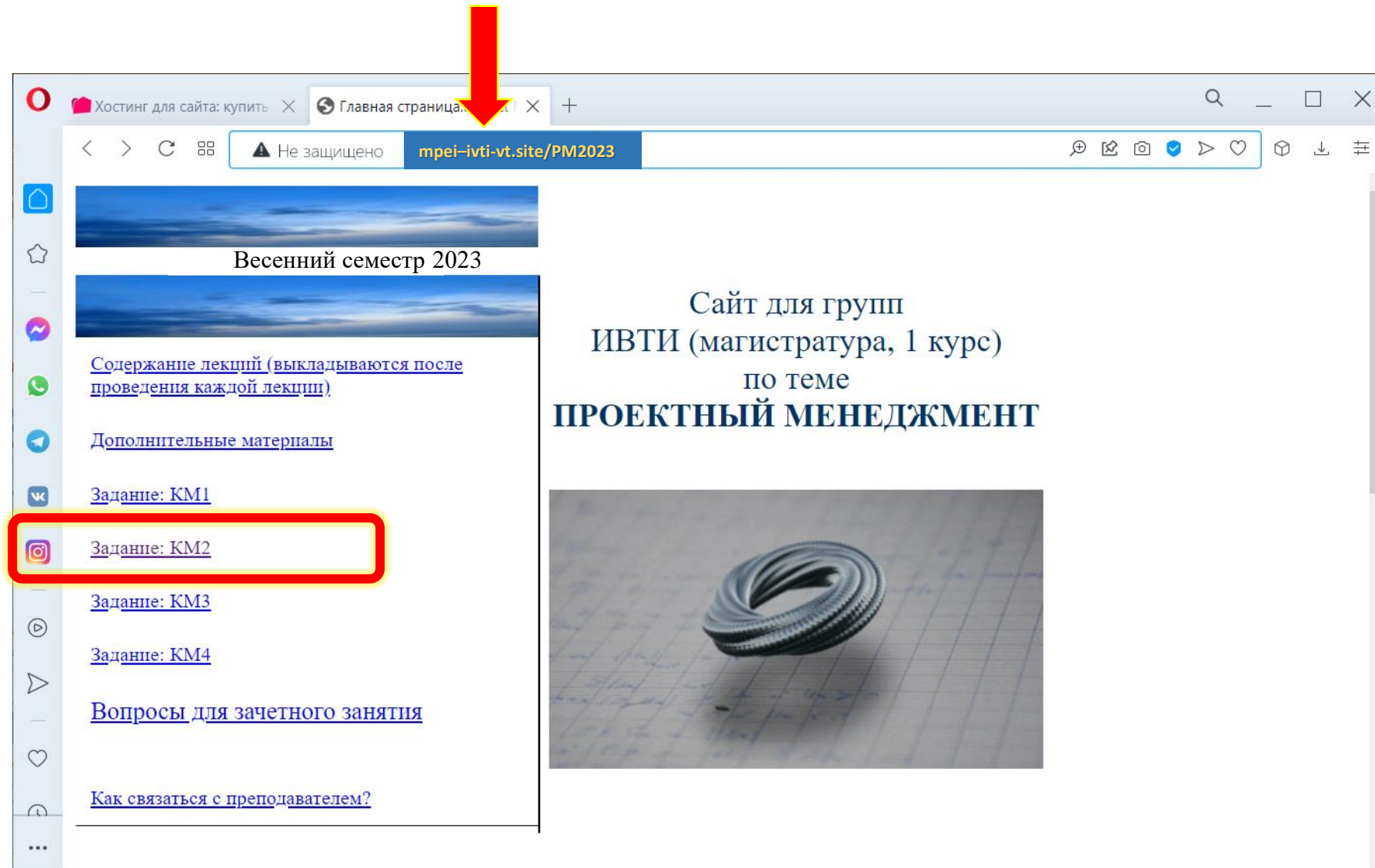
Выберите билет в соответствии с вашим номером в журнале и вышлите ответ по электронной почте ОСЭП МЭИ в письменном виде (текстовый документ) на адрес

[KrayushkinVA@mpei.ru](mailto:KrayushkinVA@mpei.ru)

- не позднее 11 апреля 2023
- Письмо должно быть отправлено с почтового ОСЭП-аккаунта студента.
- В поле **ТЕМА** должно быть указано

«**КМ-2: ответы на билет XX**»

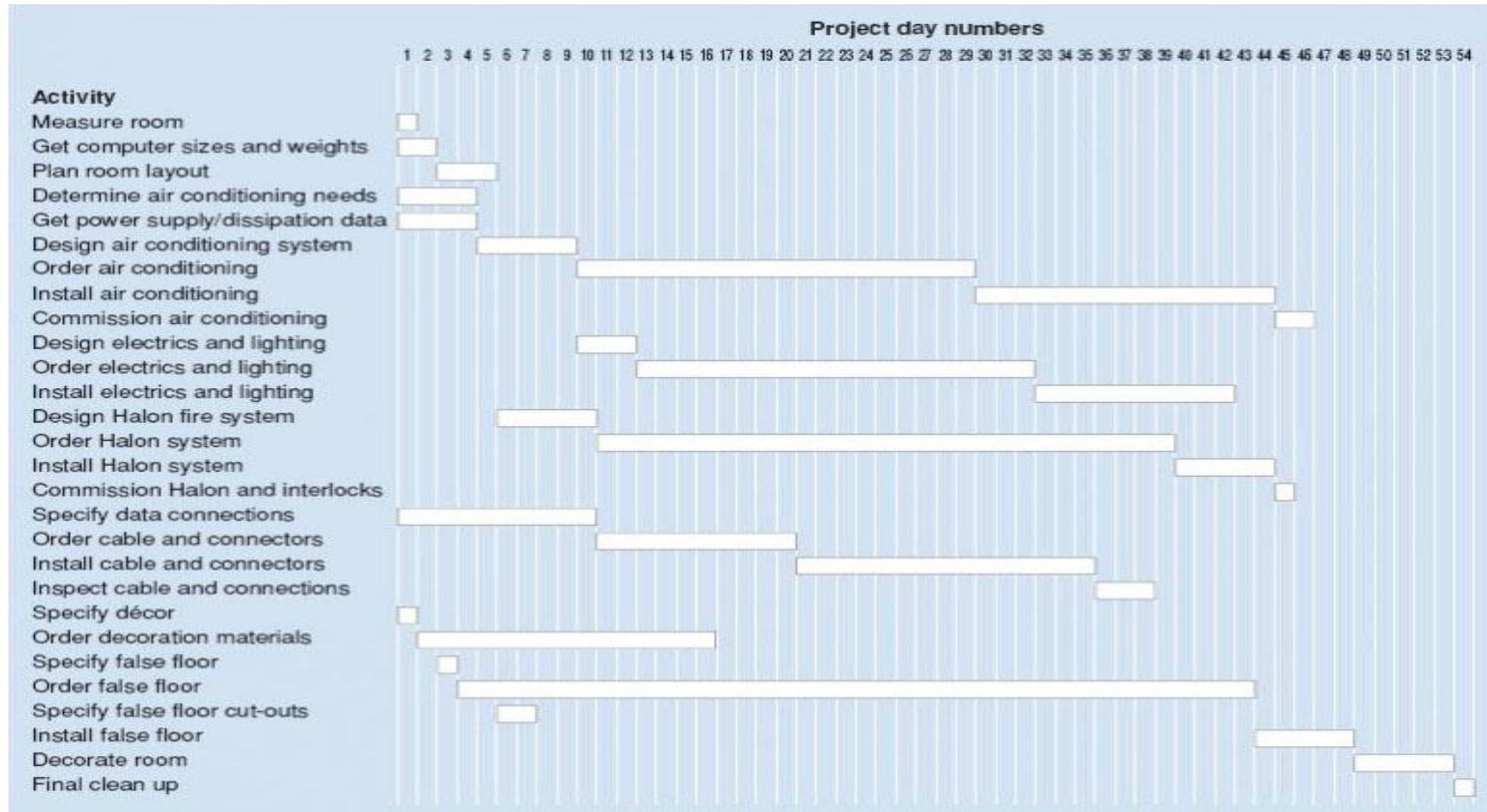
(где "**XX**" - ваш номер в журнале)



# Применение методик с использованием понятия «критический путь»

- Легко и просто для детерминированных процессов, применяемых для достижения цели процессов
- Автоматизация выполнения расчётов
- Визуализация результатов расчетов в виде диаграмм (Гантта)
- Существенное возрастание сложности аналитической части при уточнении процессного состава проекта
- Неясность по окончательному составу процессов проекта при планировании проекта

Расчет критического пути: легко для простых проектов, но как быть с диаграммами на несколько десятков состояний?





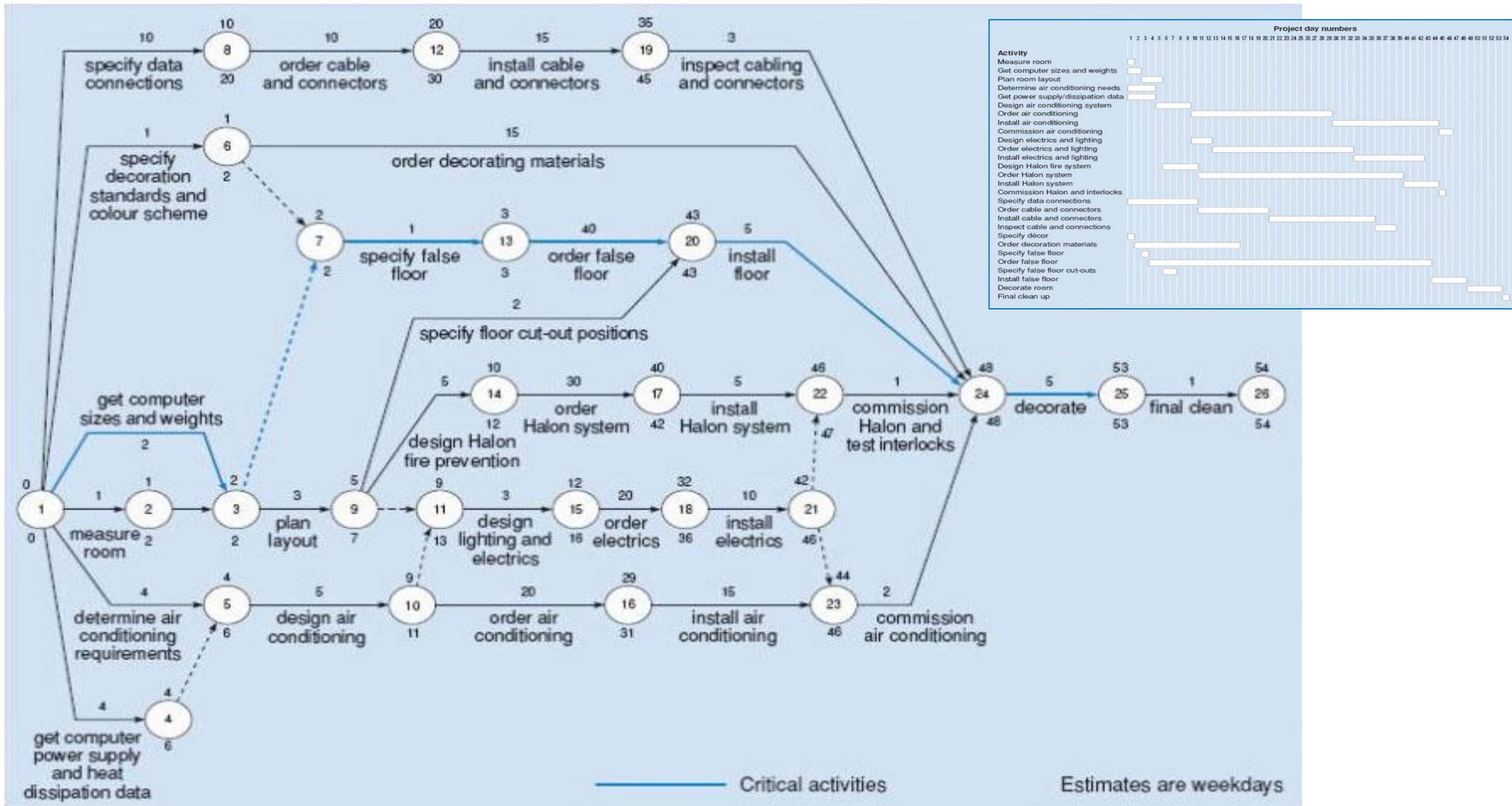


Figure 10 (Lock, 1993, p. 538)

# Project day numbers

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54

## Activity

Measure room

Get computer sizes and weights

Plan room layout

Determine air conditioning needs

Get power supply/dissipation data

Design air conditioning system

Order air conditioning

Install air conditioning

Commission air conditioning

Design electrics and lighting

Order electrics and lighting

Install electrics and lighting

Design Halon fire system

Order Halon system

Install Halon system

Commission Halon and interlocks

Specify data connections

Order cable and connectors

Install cable and connectors

Inspect cable and connections

Specify décor

Order decoration materials

Specify false floor

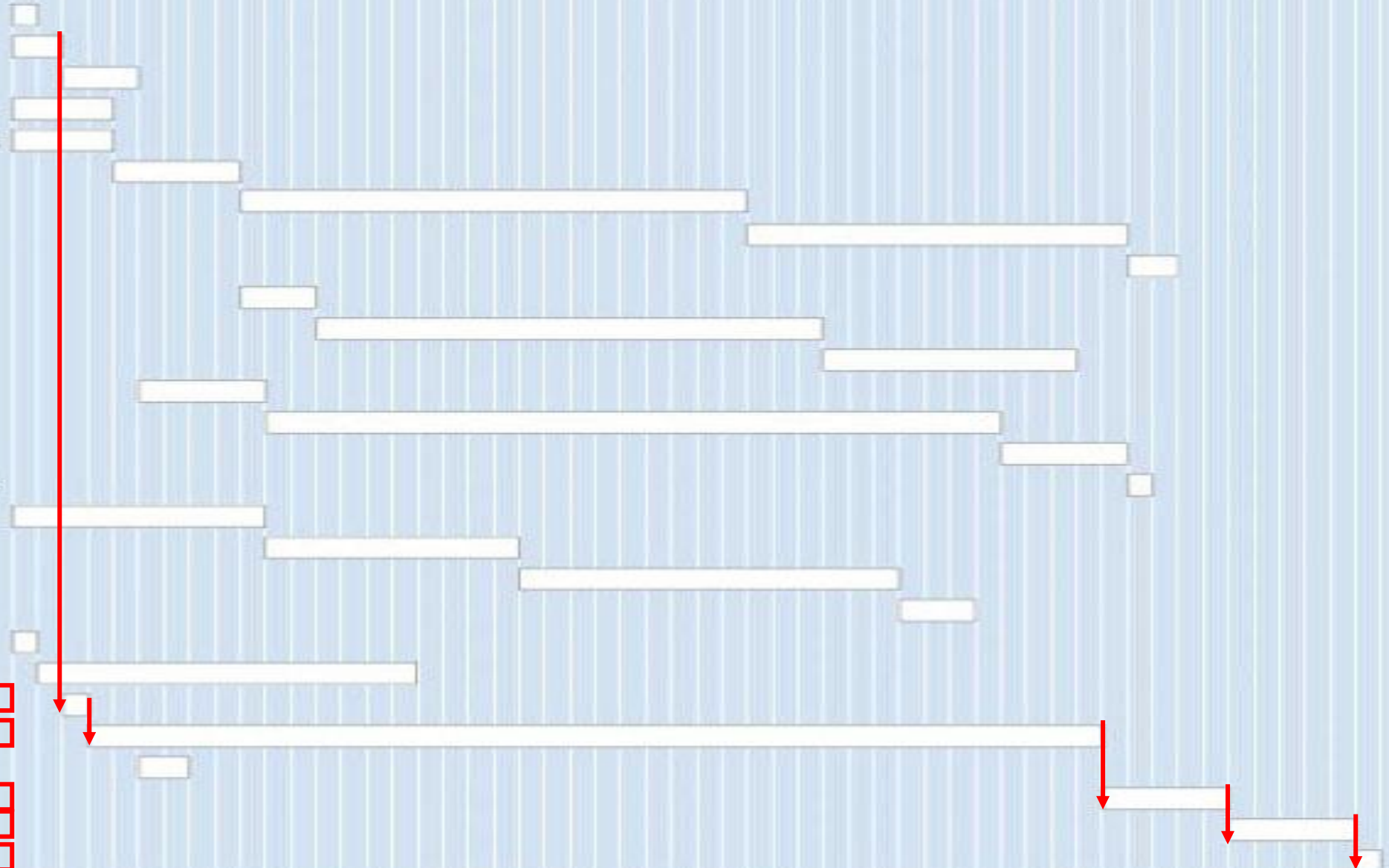
Order false floor

Specify false floor cut-outs

Install false floor

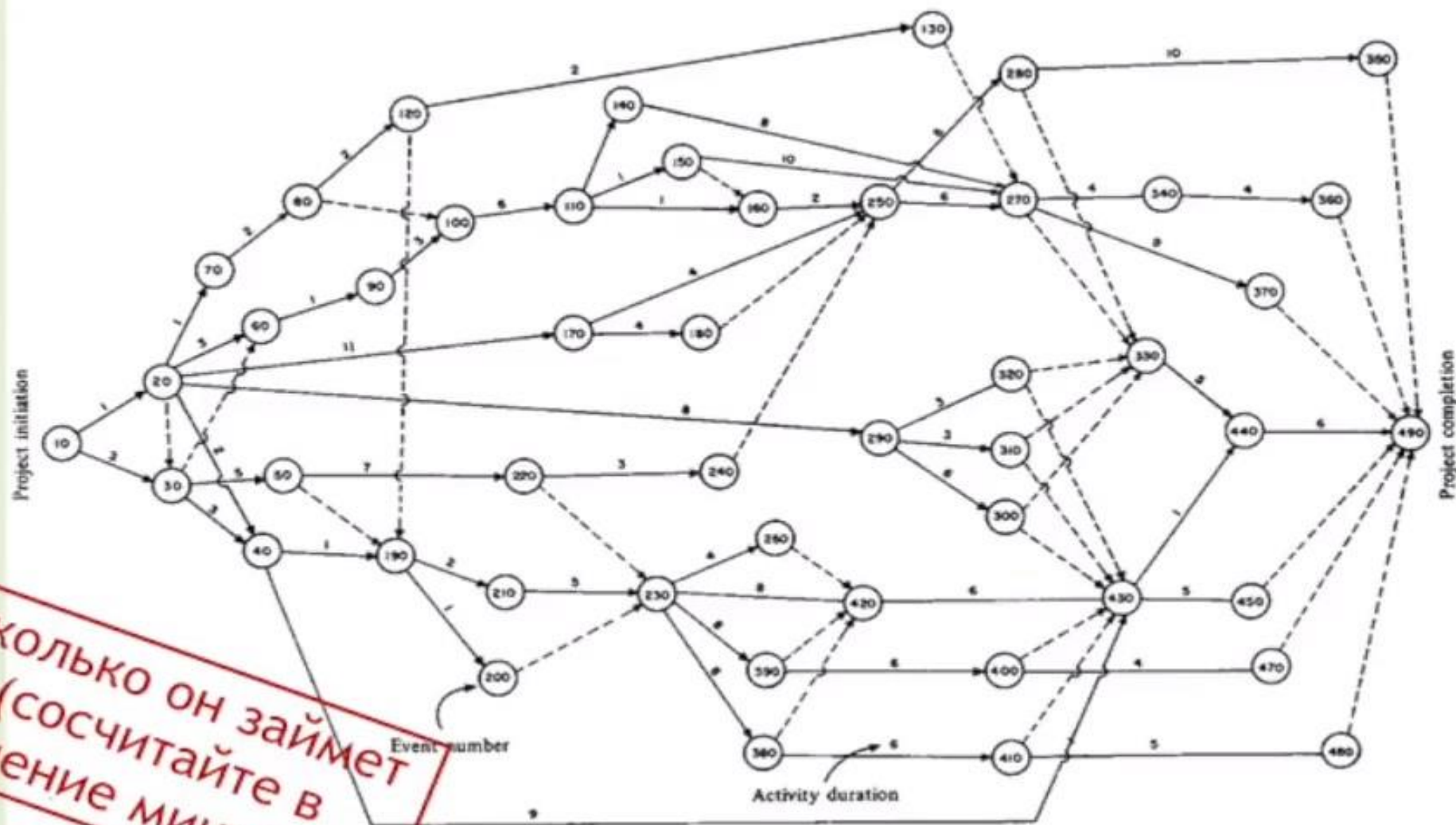
Decorate room

Final clean up





# Несложный проект



Сколько он займет  
(сосчитайте в  
течение минуты)?

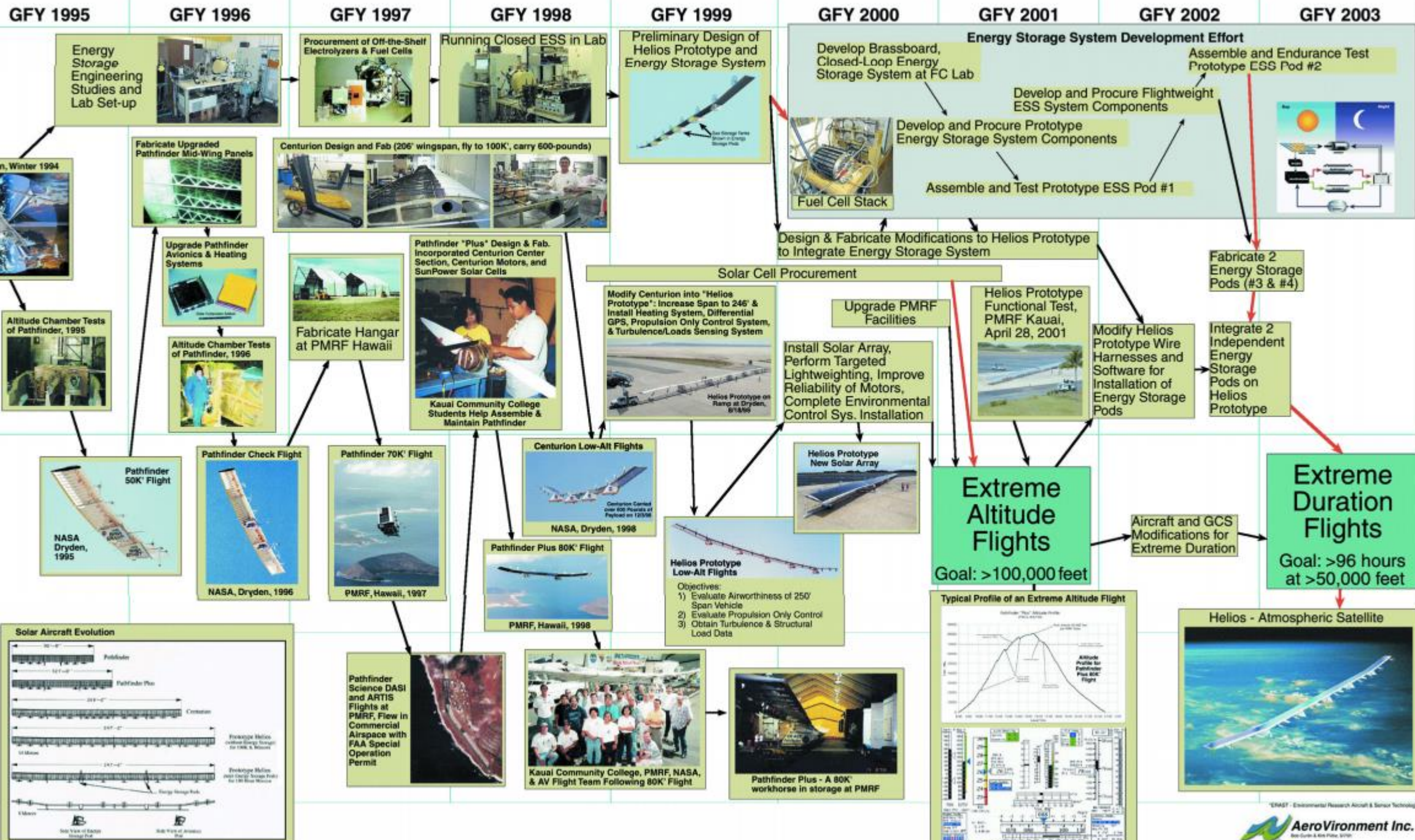


# NASA ERAST\* Solar Aircraft Development Plan

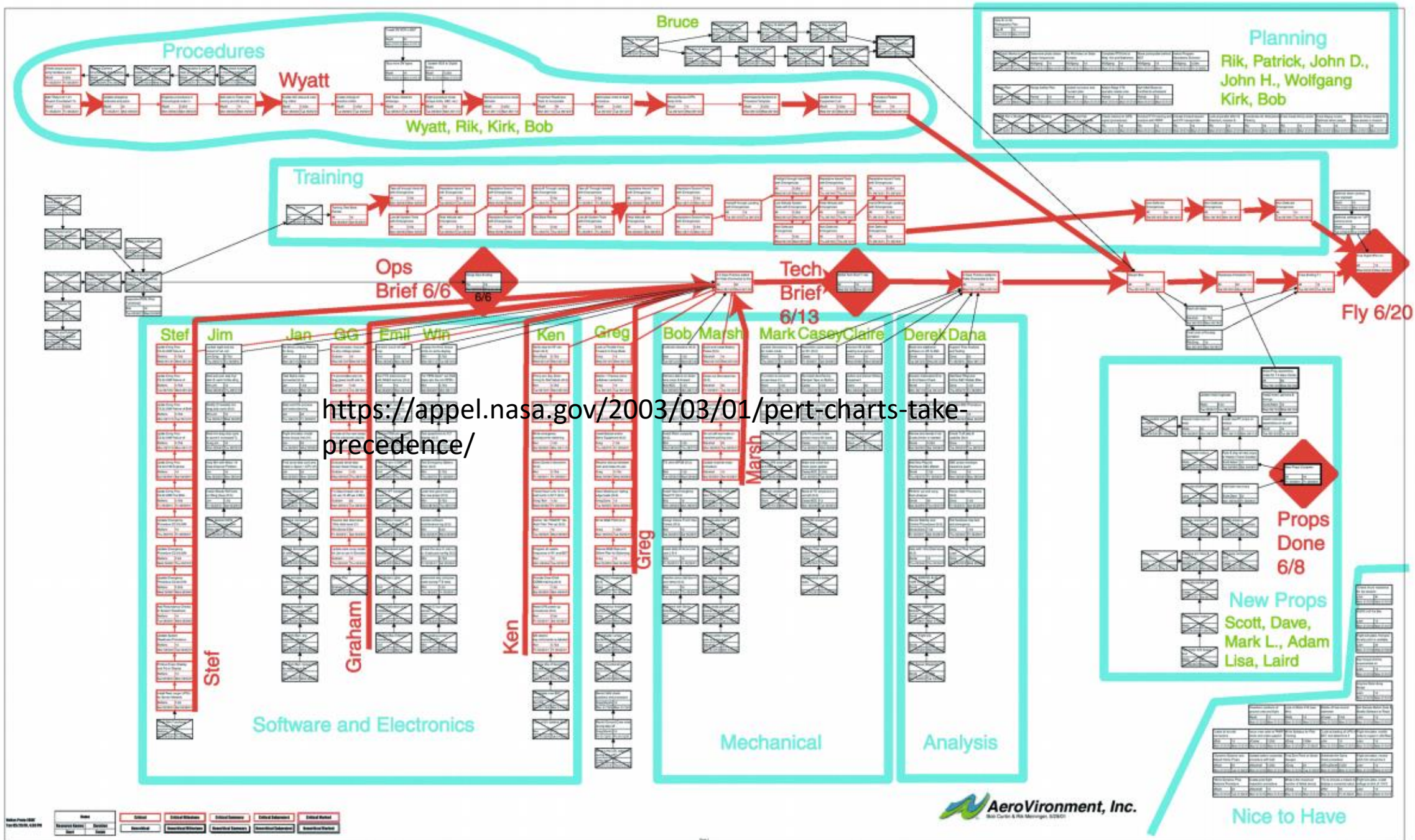
Engineering and Fabrication

Developmental Flight Testing

Science, Military, and Commercial Missions









## Вывод:

- Применение методов проектного менеджмента, использующих «классику» - CPM и PERT – для современных сложных проектов себя не оправдывает.
- CPM, PERT... - более подходят для операционной, а не проектной деятельности, не для современных сложных проектов

**«Современный»** = что означает данный термин?

**«Сложный»** = в смысле проектного менеджмента ?

**«Проект»** = просто вспомним....

ВОПРОСЫ?

