

Метод **PERT**  
И  
управление проектами

Мария Александровна Булгакова

# **Построение календарного плана и распределение ресурсов**

## Идея метода

- Одновременное выполнение некоторых параллельных операций невозможно из-за ограниченного ресурса (рабочая сила, оборудование)
- Некритические операции можно сдвинуть в пределах полного резерва времени с целью сокращения максимальной потребности в ресурсах.
- Даже если ограничений нет, лучше выровнять календарный план по ресурсам, так как проще управлять постоянным количеством рабочей силы.

# ПРОЕКТ

```
graph TD; A[ПРОЕКТ] --> B[Ограничен по времени]; A --> C[Ограничен по количеству ресурсов];
```

## Ограничен по времени

Время проекта фиксировано, а ресурсы  
эластичны  
(Стадион «Санкт-Петербург»)

## Ограничен по количеству ресурсов

Ресурсы ограничены, время эластично  
(написание кандидатской диссертации)

## Проекты, ограниченные по времени

- Если потребность в ресурсы колеблется, то управление затрудняется.
- Для сглаживании кривой потребностей используют метод выравнивания.
- Работая «на пределе сил» можно сократить срок проекта (или хотя бы уложиться в него).

Рассмотрим пример:

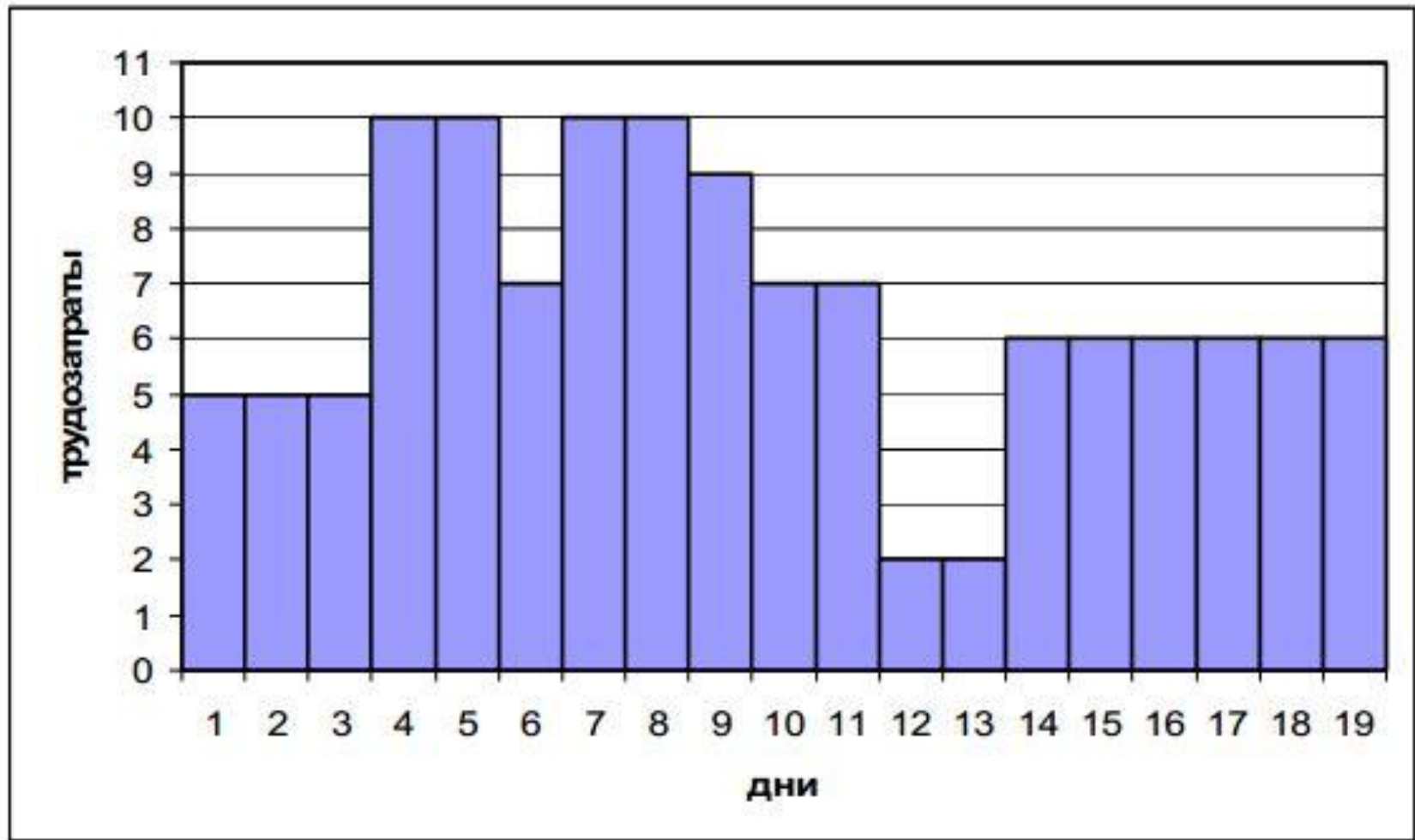
Операция	Потребность в рабочей силе	Операция	Потребность в рабочей силе
A	0	G	2
B	5	H	1
C	0	I	2
D	7	K	5
E	3	L	6

Дни

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19						
A	0	0	█		█		█		█		█		█		█		█		█						
B	5	5	5	█		█		█		█		█		█		█		█		█					
C	█		0	0	█		█		█		█		█		█		█		█						
D	█			7	7	7	█		█		█		█		█		█		█						
E	█				3	3	█		█		█		█		█		█		█						
G	█						2	2	2	█		█		█		█		█		█					
H	█							1	1	█		█		█		█		█		█					
I	█								2	2	2	2	2	2	2	█		█		█					
K	█									5	5	5	5	5	█		█		█		█				
L	█													6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Ресурсы	5	5	5	10	10	7	10	10	9	7	7	2	2	6	6	6	6	6	6	6	6				

Ресурсы

Ранний календарный план



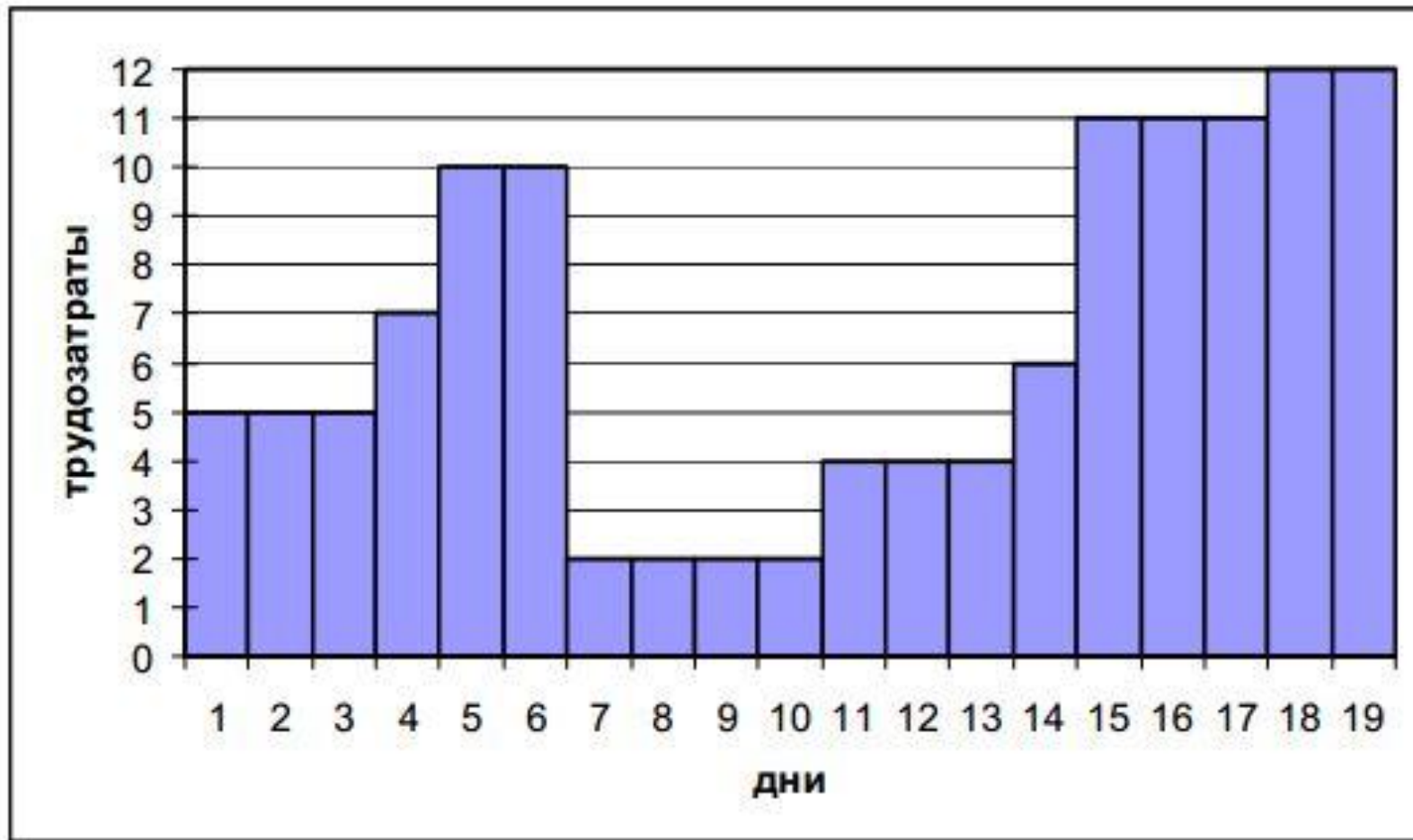
Пик использования ресурсов – 10, в первой половине проекта

Ресурсный профиль проекта для раннего календарного плана

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A			0	0															
B	5	5	5																
C					0	0													
D			7	7	7														
E				3	3														
G										2	2	2							
H																		1	1
I							2	2	2	2	2	2	2						
K															5	5	5	5	5
L														6	6	6	6	6	6
	5	5	5	7	10	10	2	2	2	2	4	4	4	4	11	11	11	12	12

Поздний календарный план





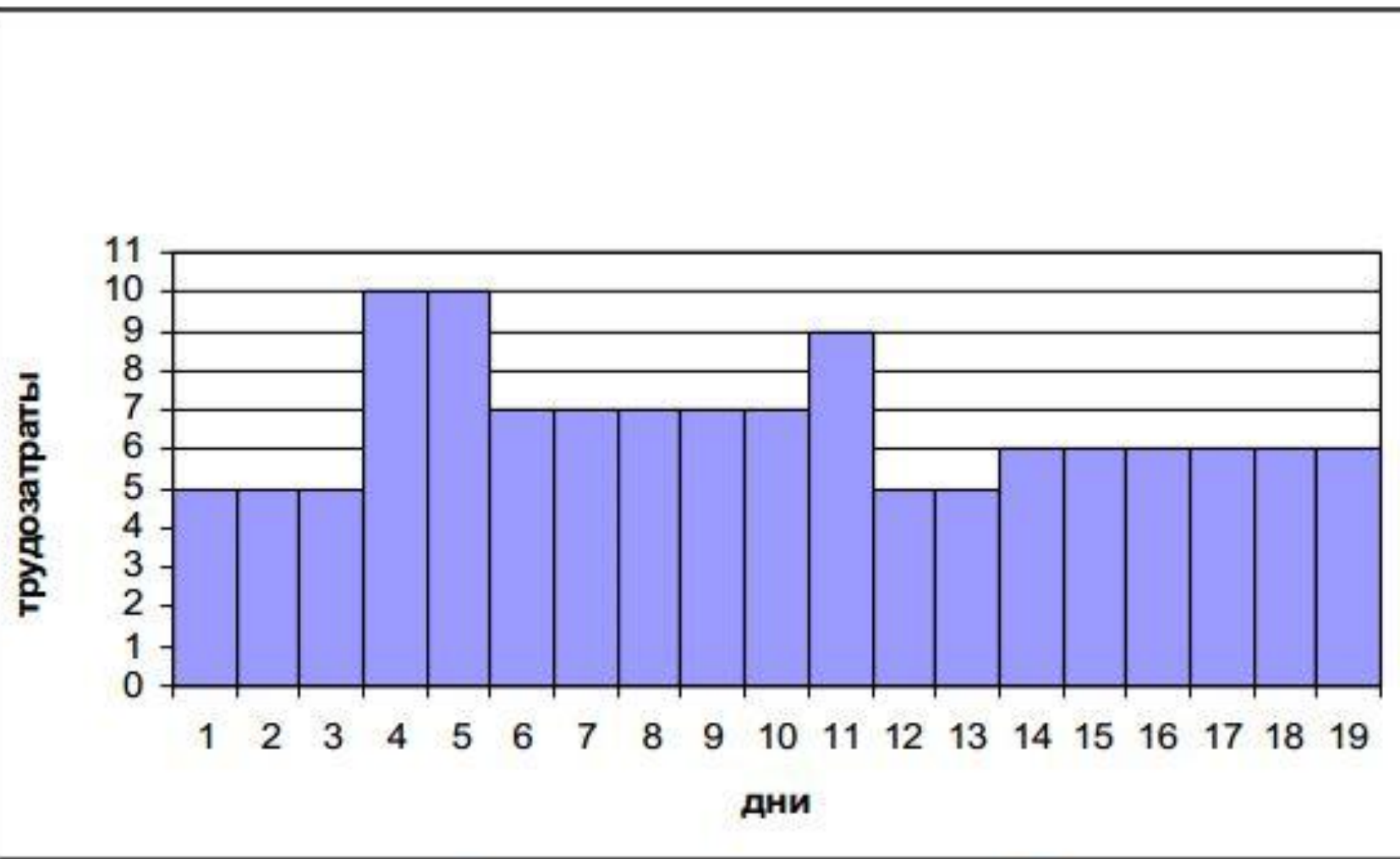
Ресурсный профиль проекта для позднего календарного плана

Пик использования ресурсов 12, больше, чем при КМР. В самом конце проекта, это плохо (срок проекта зависит от бóльшего числа людей, больше вероятность провала)

- Операция D – операция с максимальными трудозатратами – 7.
- Работы D и E выполняются строго параллельно – минимум трудозатрат по проекту 10.
- Поздний календарный план хуже раннего, где минимум трудозатрат совпадает с максимумом, он сразу выпадает из рассмотрения.
- Ранний календарный план все еще можно улучшить, выровняв трудозатраты.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
A	0	0	█																	
B	5	5	5																	
C			0	0	█															
D				7	7	7														
E				3	3	█														
G									█		2	2	2							
H									█			1	1	█						
I							2	2	2	2	2	2	2							
K							5	5	5	5	5	█								
L														6	6	6	6	6	6	6
	5	5	5	10	10	7	7	7	7	7	9	5	5	6	6	6	6	6	6	6

**Выровненный календарный план**



Выровненный ресурсный профиль

В отличие от КМР, где есть скачок ресурсов от 2 до 10, здесь трудозатраты ниже 5 не опускаются. Контролировать проще.

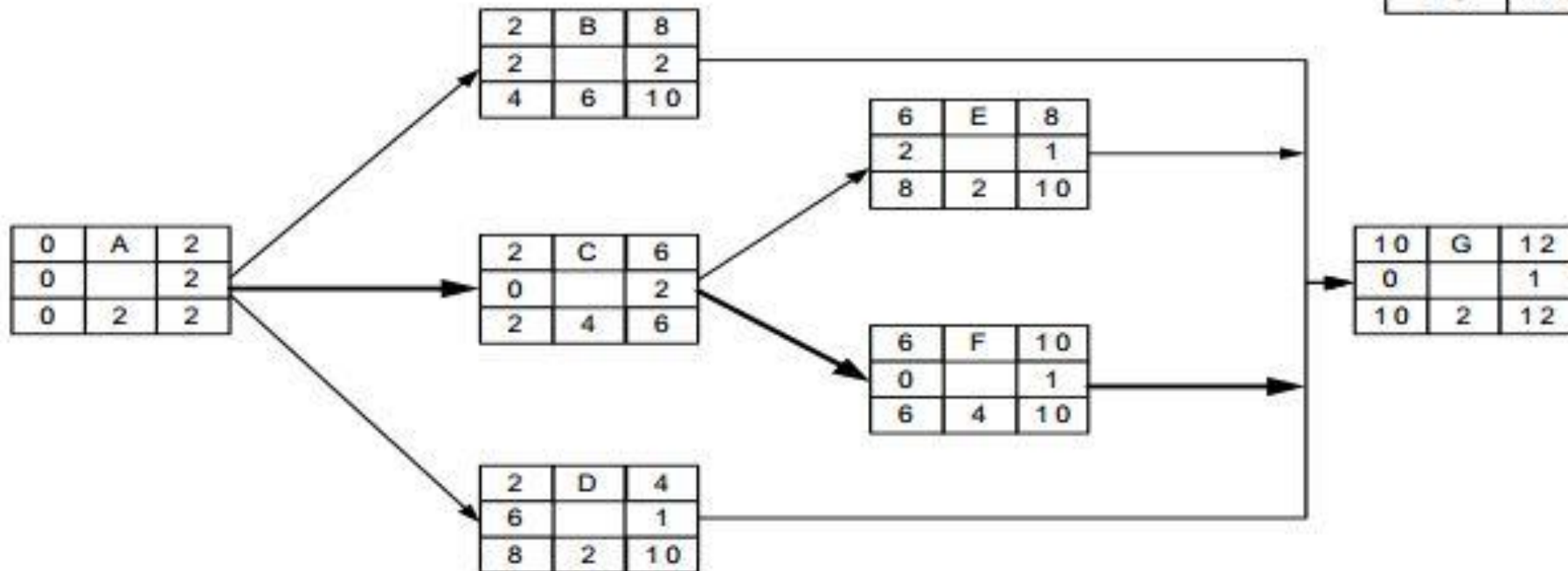
## Проекты, ограниченные по ресурсам

Если невозможно удовлетворить пиковую потребность в ресурсах (нет денег, не существует оборудования, ограниченные поставки) – значит проект ограничен по ресурсам. В этом случае ставится задача минимизации срока задержки всего проекта. Для этого необходимо грамотно распределить имеющиеся ресурсы.

# Пример

## ОБОЗНАЧЕНИЯ

ES	ID	EF
TF		RES
LS	DUR	LF



								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ID	RES	DUR	ES	EF	LS	LF	TF													
A	2	2	0	2	0	2	0	2	2											
B	2	6	2	8	4	10	2			2	2	2	2	2	2					
C	2	4	2	6	2	6	0			2	2	2	2							
D	1	2	2	4	8	10	6			1	1									
E	1	2	6	8	8	10	2							1	1					
F	1	4	6	10	6	10	0							1	1	1	1			
G	1	2	10	12	10	12	0												1	1
Общая загрузка ресурсов								2	2	5	5	4	4	4	4	1	1	1	1	

Схема загрузки ресурсов при раннем старте

## Оптимальное распределение ресурсов

- Цель: сократить пик потребности в ресурсах, повысить степень их использования.
- Резерв имеют только две операции, В и D.
- Любую из них можно задержать, чтобы сократить пик потребностей ресурсов с 5 единиц до 4.



								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ID	RES	DUR	ES	EF	LS	LF	TF												
A	2	2	0	2	0	2	0	2	2										
B	2	6	2	8	4	10	2					2	2	2	2	2	2		
C	2	4	2	6	2	6	0			2	2	2	2						
D	1	2	2	4	8	10	6			1	1								
E	1	2	6	8	8	10	2							1	1				
F	1	4	6	10	6	10	0							1	1	1	1		
G	1	2	10	12	10	12	0											1	1
Общая загрузка ресурсов								2	2	3	3	4	4	4	4	3	3	1	1

Результаты задержки операции B

								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ID	RES	DUR	ES	EF	LS	LF	TF												
A	2	2	0	2	0	2	0	2	2										
B	2	6	2	8	4	10	2			2	2	2	2	2	2				
C	2	4	2	6	2	6	0			2	2	2	2						
D	1	2	2	4	8	10	6									1	1		
E	1	2	6	8	8	10	2							1	1				
F	1	4	6	10	6	10	0							1	1	1	1		
G	1	2	10	12	10	12	0											1	1
Общая загрузка ресурсов								2	2	4	4	4	4	4	4	2	2	1	1

**Результаты задержки операции D**

## Итог:

- Ресурсы, необходимые на проект, сократились с 5 до 4 единиц.
- Повысился процент эффективности использования ресурсов с 57% до 71%.
- Выровненный график означает облегчение в управлении.

## Расчёт эффективности использования ресурсов:

Необходимо нанять 5 сотрудников (пик) на проект. Проект длится 12 дней.

$5 \times 12 = 60$ . По факту необходимы 34 единицы ресурса, часть простаивает.

$$34/60 = 57\%$$

После выравнивания необходимо нанять 4 человека на 12 дней.  $4 \times 12 = 48$ .

По факту используются снова 34 единицы (исходные данные неизменны).

$$34/48 = 71\%$$

## Недостатки выравнивания ресурсов:

- Потеря эластичности сетевого графика, из-за сокращения резервов времени не критических операций. В результате получаем больше критических (нулевой резерв + критический путь) и почти критических работ (нулевой резерв).
- Огромное число вариантов решений. Даже небольшой проект с несколькими типами ресурсов может иметь несколько тысяч решений -> невозможно решить математически.

## Эвристический (приближенный) алгоритм выравнивания ресурсов:

Ставится задача минимизации срока задержки всего проекта.

Эвристические критерии (критерии выбора операции):

- Минимум резерва времени операции.
- Минимум продолжительности выполнения операции.

## Алгоритм:

1. Выделяются операции, которые должны начаться в текущий период.
2. Среди них группируются операции, требующие одинаковых ресурсов.
3. Далее применяется 1 критерий – первой на сетевой график наносится операция, имеющая минимальный резерв времени.
4. Если несколько работ имеют одинаковый минимальный резерв времени, применяется критерий 2 – выбирается операция наименьшей продолжительность.
5. Если ресурс исчерпан, а работы в данном периоде еще есть, их ранний старт откладывается, пока не освободится ресурс.

*Алгоритм продолжается, пока не будет составлен график всего проекта.*

Результат применения алгоритма для примера выше:

Период	Действие
1	Приемлема только операция А. Она требует 2 единицы ресурса. Вносим операцию А в график.
2	Нет приемлемых операций для внесения в график.
3	Приемлемы операции В, С, D. Операция С имеет наименьший резерв времени (0). Вносим операцию С в график. Следующей операцией является операция В с резервом 2, но для ее выполнения не хватит ресурса. Отложим ранний старт операции В ( $ES = 3, TF = 1$ ). Следующая приемлемая операция D. Для ее выполнения требуется одна единица ресурса. Вносим операцию D в график.
4	Операция В приемлема, но превышает лимит 3 единицы ресурса. Скорректируем старт операции В ( $ES = 4, TF = 0$ ).
5	Операция В приемлема, но превышает лимит 3 единицы ресурса. Скорректируем старт операции В ( $ES = 5, TF = -1$ ). Задерживаем операцию G ( $ES = 11, TF = -1$ ).
6	Операция В приемлема, но превышает лимит 3 единицы ресурса. Скорректируем старт операции В ( $ES = 6, TF = -2$ ). Задерживаем операцию G ( $ES = 12, TF = -2$ ).

7	Операции В, Е, F приемлемы с резервами -2, 2, 0 соответственно. Вносим операцию В в график (критерий 1). Следующей в график вносится операция F (критерий 1). Лимит ресурсов достигнут. Задерживаем операцию Е ( $ES = 7, TF = 1$ ).
8	Лимит достигнут. Задерживаем операцию Е ( $ES = 8, TF = 0$ ).
9	Ресурсов в наличии нет. Задерживаем операцию Е ( $ES = 9, TF = -1$ ).
10	Ресурсов в наличии нет. Задерживаем операцию Е ( $ES = 10, TF = -2$ ).
11	Операция Е приемлема. Вносим операцию Е в график.
12	Нет приемлемых операций.
13	Операция G приемлема. Вносим операцию G в график.



Сеть пришлось скорректировать. В итоге сетевой график с новой длительностью, ранними стартами и резервами выглядит так:

					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ID	RES	DUR	ES	EF														
A	2	2	0	2	2	2												
B	2	6	2	8							2	2	2	2	2	2		
C	2	4	2	6			2	2	2	2								
D	1	2	2	4			1	1										
E	1	2	6	8											1	1		
F	1	4	6	10							1	1	1	1				
G	1	2	10	12													1	1
Общая загрузка ресурсов					2	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	1	1
Имеющийся ресурс					3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

**Окончательный график ресурсов, подчиненных ограничению**

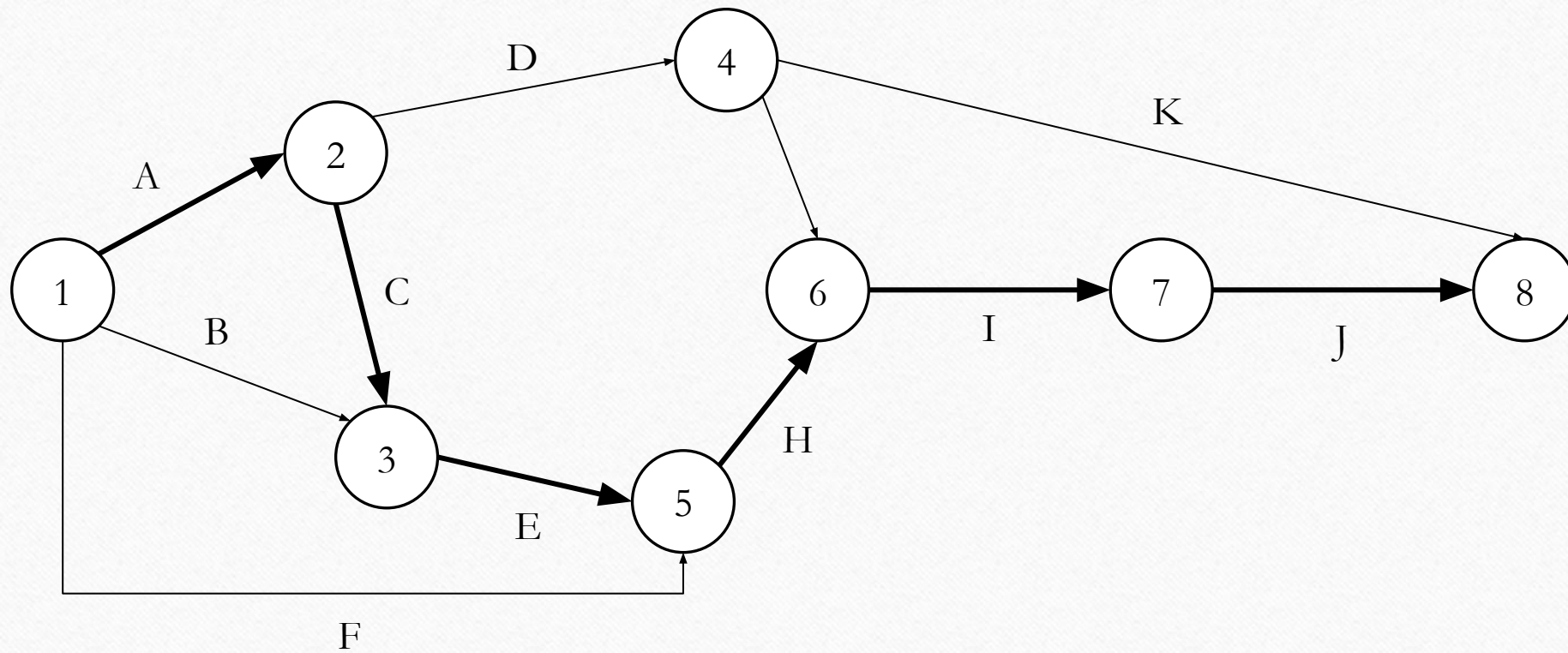
## Практическое задание №4

Выберите для себя один из типов выравнивания календарного плана (с приоритетом по времени или ресурсам) и постройте выровненный календарный план. Произведите расчёт эффективности использования трудовых ресурсов.

## Пример (см. файл excel)

Работа	Последователь	Предшественник	Длительность (дни)	Ресурс (ед\день)
A	D, C	-	3	2
B	E	-	5	4
C	E	A	3	3
D	G, K	A	2	2
E	H	B, C	6	3
F	H	-	4	1
G	I	D	3	2
H	I	E, F	2	4
I	J	G, H	3	1
J	-	I	1	6
K	-	D	3	1

Сетевая модель «дуга-работа»



**Расчеты.** Здесь нас интересует критический путь, а так же время полного резерва. Именно в пределах полного резерва мы можем двигать некритические операции с целью выравнивания календарного плана.

	D	ES	EF	LS	LF	TF	
St	0	0	0	0	0	0	
<b>A</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	
B	5	0	5	1	6	1	
<b>C</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	
D	2	3	5	9	11	6	
<b>E</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	
F	4	0	4	8	12	8	
G	3	5	8	11	14	6	
<b>H</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	
<b>I</b>	<b>3</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	
<b>J</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	
K	3	5	8	15	18	10	
Fin	0	18	18	18	18	0	

Ранний календарный план																			
A	2	2	2																
B	4	4	4	4	4														
C				3	3	3													
D				2	2														
E							3	3	3	3	3	3							
F	1	1	1	1															
G						2	2	2											
H													4	4					
I															1	1	1		
J																	6		
K						1	1	1											
T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
W	7	7	7	10	9	6	6	6	3	3	3	3	4	4	1	1	1	6	
																		фактическая потребность в ресурсах	87
																		Плановая потребность в ресурсах (пик*кол-во дней)	180
																		Эффективность использования ресурсов (факт/план)	0,48

Ресурсный профиль раннего календарного плана







## Выравнивание "время"





## Выравнивание "ограниченные ресурсы"

