

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»  
Кафедра экономики и организации строительства

Методический практикум  
для выполнения лабораторных и практических занятий  
по дисциплине «Организация строительного производства»  
для студентов строительных специальностей всех форм обучения  
(часть 1)

Брест 2006

**Тематика лабораторных (практических) занятий.**

**Тема № 1. Расчет строительных потоков.**

*Занятие 1.* **Расчет равномерного и кратноритмичного специализированных потоков.**

*Занятие 2.* **Расчет неритмичного специализированного потока.**

**Тема №2. Сетевое моделирование в строительстве.**

*Занятие 1.* **Основные элементы и правила построения сетевых моделей.**

*Занятие 2.* **Секторный метод расчета временных параметров сетевых графиков.**

*Занятие 3.* **Табличный метод расчета временных параметров сетевых графиков.**

*Занятие 4.* **Оптимизация сетевых графиков по заданным ограничениям по времени.**

*Занятие 5.* **Построение сетевых графиков в масштабе времени. Оптимизация календарных планов по заданным ограничениям по ресурсам.**

## Тема № 1. Расчет строительных потоков.

### Занятие 1. Расчет равномерного и кратноритмичного специализированных потоков.

Цель занятия: изучение теоретических основ поточных методов организации строительства, овладение практическими навыками расчета и проектирования специализированных потоков.

#### 1. Теоретические основы поточных методов организации строительства.

Строительные процессы могут выполняться последовательным, параллельным или поточным методами.

Допустим, что требуется возвести  $N$  одинаковых объектов (монолитных конструкций).

Изобразим линейный график последовательного строительства  $N$  одинаковых объектов.

№ объекта	Рабочие дни			
$N$				
...				
3				
2				
1				
	$t$			
		$T = \sum t$		



Рис. 1. Линейный график строительства  $N$  одинаковых объектов последовательным методом

Обозначения:  $T$  – общий срок строительства;  
 $t$  – продолжительность строительства одного объекта;  
 $r$  – потребность в ресурсах при строительстве одного объекта;  
 $R$  – общая потребность в ресурсах.

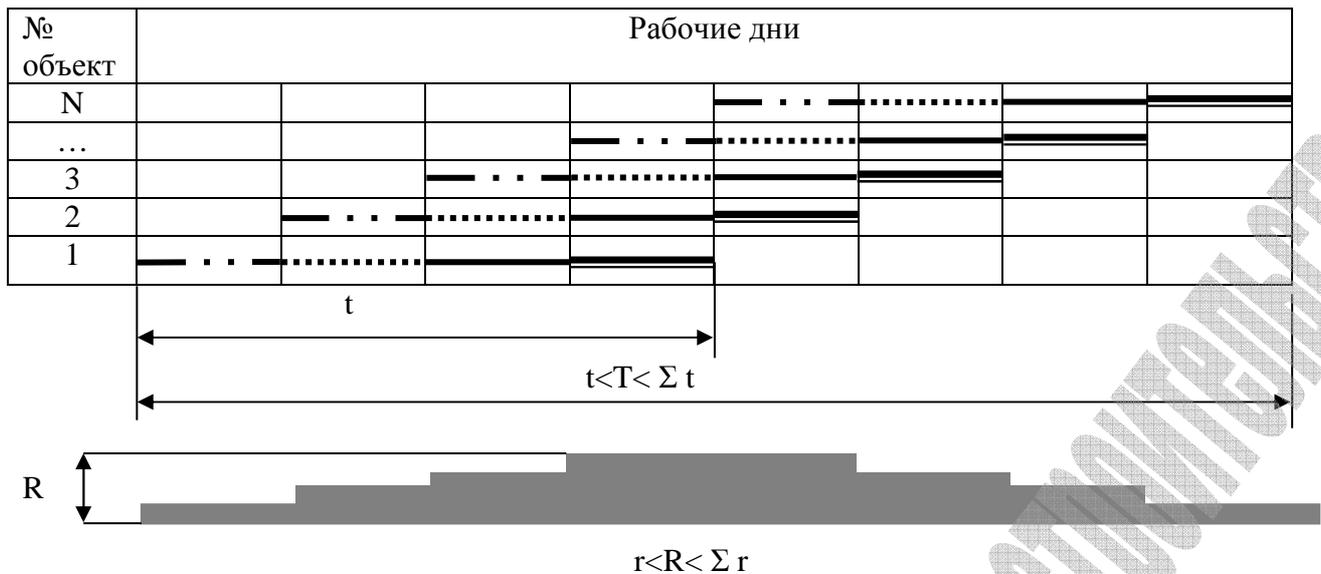
Такой метод применяется при строительстве небольших объектов.

#### Недостатки этого метода:

1. Большая продолжительность строительства.
2. Отсутствие глубокой технологической специализации рабочих.
3. Низкая загрузка предприятий стройиндустрии.

**Основным достоинством** этого метода является то, что этот метод применяется при строительстве объектов с ограниченным сроком





**Рис 3. Линейный график строительства  $N$  одинаковых объектов поточным методом**

**Достоинства метода:**

1. Рабочие одной квалификации выполняют одни и те же процессы в течение длительного времени, что положительно влияет на производительность труда и качество выполнения работ:
2. Ритмично работают предприятия стройиндустрии:
3. Ритмично работают строительные организации:
4. Сокращаются сроки по сравнению с последовательным методом и постепенно нарастает интенсивность потребления ресурсов по сравнению с параллельным методом.

**Условия создания строительного потока:**

1. Расчленение сложного комплексного процесса на простые составляющие процессы.
2. Разделение труда исполнителей и закрепление за ними соответствующих простых процессов.
3. Создание производственного ритма.
4. Назначение очередности работ на захватках, максимально совмещая их по времени и ресурсам.

**Поточным методом** называется такой метод, при котором бригады рабочих постоянного состава, оснащенные соответствующим набором инструментов и машин, выполняют одни и те же работы, максимально совмещая их во времени на различных захватках, и ритмично выпускают готовую строительную продукцию.

Строительные потоки классифицируются

**По структуре** - частные, специализированные, объектные и комплексные.

**Частный поток** – элементарный строительный поток, который представляет собой выполнение одного строительного процесса на ряде

захваток. Продукция частного потока – работы или элементы конструкций зданий.

**Специализированный поток** – совокупность частных потоков, совместной продукцией которого являются либо законченный конструктивный элемент либо комплекс работ.

**Объектный поток** – совокупность специализированных потоков, совместной продукцией которых является либо отдельное здание, либо группа одинаковых зданий или сооружений.

**Комплексный поток** – группа организационно связанных между собой объектных потоков совместной продукцией которых является комплекс зданий и сооружений.

**По ритмичности** – ритмичные и неритмичные потоки:

**Ритмичные потоки** – это потоки, в которых продолжительности выполнения работ на отдельных захватках одинаковы. Ритмичными могут быть частные, специализированные и объектные потоки.

Неритмичные потоки – это потоки в которых продолжительности выполнения работ на отдельных захватках различны

Неритмичными могут быть все виды потоков.

**Параметры строительных потоков** подразделяются на пространственные, технологические (организационные) и временные.

#### **Пространственные параметры**

**Захватка ( $m$ )** – часть здания или его конструктивного элемента, в пределах которого развиваются и увязываются между собой частные потоки, входящие в состав специализированного потока.

**Участок** – часть возводимого здания, в пределах которого развиваются взаимосвязанные специализированные потоки, входящие в состав объектного потока.

**Делянка** – фронт работы одной бригады.

**Ярус** – участок условного деления объекта по вертикали.

#### **Технологические параметры**

**Число потоков ( $n$ )** – количество частных потоков в составе специализированного потока.

**Объем работ ( $V$ )** – количество выполняемой работы в физических единицах измерения:

**Трудоемкость ( $Q$ )** – затраты труда на выполнение работы в чел-дн.

**Интенсивность ( $I$ )** – количество продукции, выпускаемое строительным потоком за единицу времени.

#### **Временные параметры**

**Ритм потока ( $t$ )** – продолжительность работы бригады на одной захватке.

**Шаг потока ( $k$ )** – промежуток времени между началом работ двух смежных частных потоков.

**Период развертывания** ( $\tau_p$ ) – время, в течение которого в поток включаются все потоки.

**Период выпуска продукции** ( $T_{пр}$ ) – время, в течение которого выпускается готовая строительная продукция.

**Технологический (организационный) перерыв** ( $t_{пер}$ ) – промежуток времени между окончанием предыдущего и началом последнего потока.

Математические зависимости между временными параметрами специализированного потока показан на рис.4

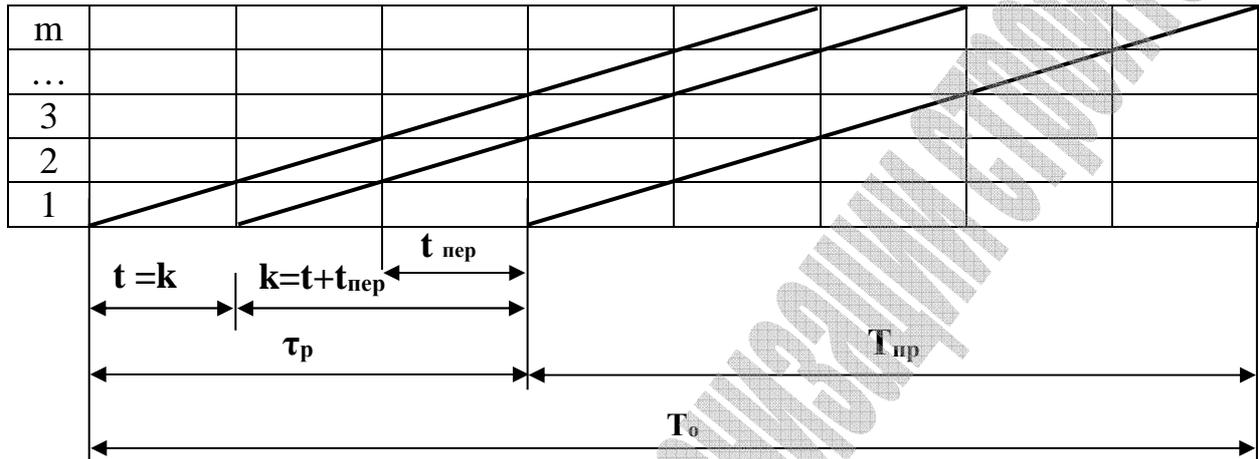


Рис. 4. Циклограмма равномерного специализированного потока

Продолжительность потока определяется по формуле:  $T_0 = \tau_p + T_{пр}$ ,

Где:  $\tau_p = k(n - 1) + t_{пер}$ ;  $T_{пр} = t \cdot m$ . Если  $k = t$ , то

$$T_0 = t(n - 1) + t_{пер} + t \cdot m = t(m + n - 1) + t_{пер}.$$

При выполнении комплексов строительных работ возможны между ними технологические и организационные перерывы различных видов, которые отражаются на соответствующих графиках.

### Пример выполнения заданий.

#### 1. Организация специализированного потока с одинаковым ритмом работы бригад (равноритмичный специализированный поток)

Требуется составить график производства работ (линейный и циклограмму) и определить общую продолжительность выполнения работ, включенных в специализированный поток по устройству мягкой кровли.

**Исходные данные:**

1. Состав работ: 1) устройство пароизоляции;  
2) укладка утеплителя;  
3) устройство цементной стяжки;  
4) наклейка рубероидного ковра.
2. Объемы работ на захватках одинаковые.
3. Число захваток  $m=5$ .
4. Ритмы работы бригад  $t = 2$  дня.

**Решение.**

Шаг потока принимаем равным ритму работы бригад  $k = t = 2$   
 В специализированный поток входят 4 процесса ( $n=4$ )  
 Период развертывания потока определится:

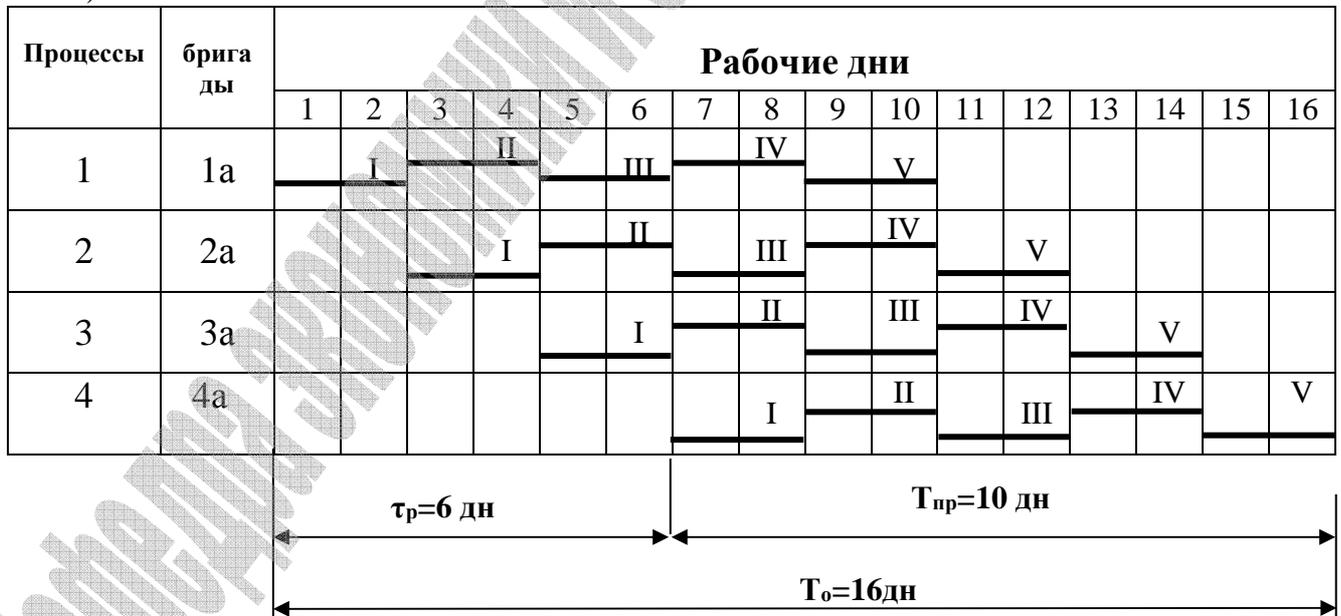
$$\tau_p = k ( n - 1 ) = t ( n - 1 ) = 2 \cdot ( 4 - 1 ) = 6 ( \text{дней} ).$$

Общая продолжительность выполнения работ будет равна

$$T_o = t ( m + n - 1 ) = 2 \cdot ( 5 + 4 - 1 ) = 16 ( \text{дней} )$$

Строим линейный график и циклограмму равномерного специализированного потока:

а) линейный



б) циклограмма

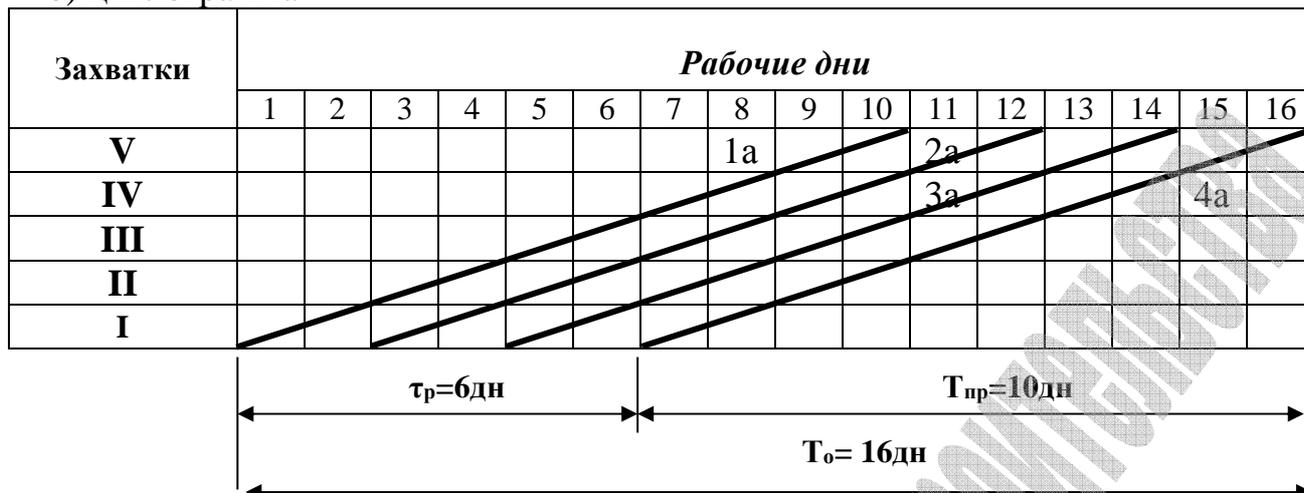


Рис. 5. *Линейный график (а) и циклограмма (б) специализированного ритмичного потока.*

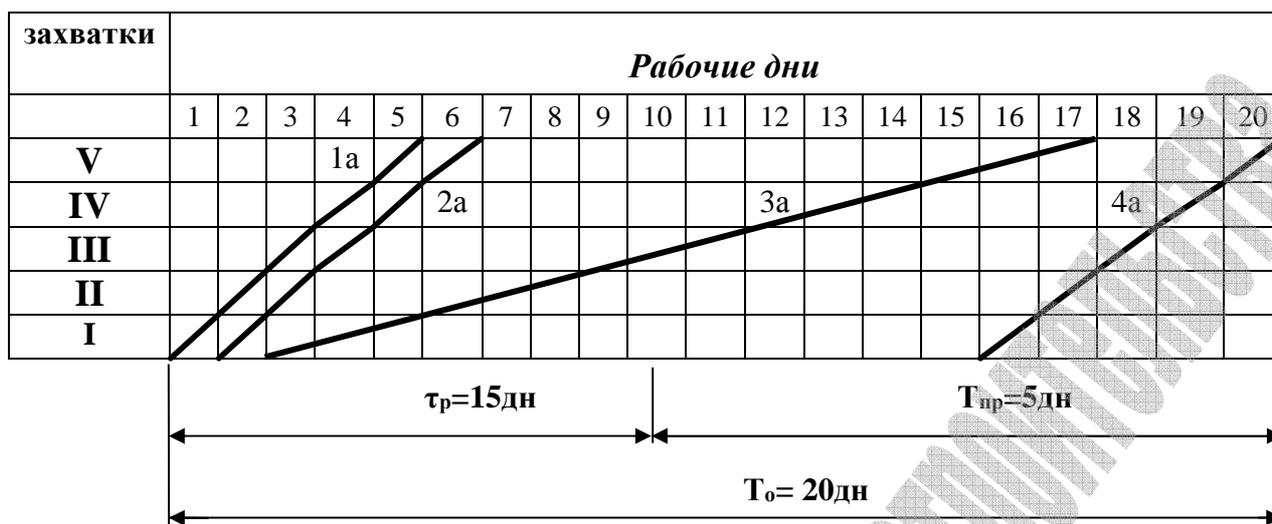
**2. Организация потока с постоянным не единым, но кратным ритмом работы бригад (кратноритмичный поток)**

Составить график производства работ (линейный и циклограмму) и определить общий срок строительства 5 монолитных фундаментов.

**Исходные данные:**

- Состав работ: 1) опалубка;  
2) армирование;  
3) бетонирование;  
4) распалубка.
- Объемы работ на захватках одинаковые.
- Технологический перерыв между бетонированием и распалубкой принять равным 2 дням.
- Число захваток  $m=5$ .
- Ритмы работы бригад:  $t_1=1$ ;  $t_2=1$ ;  $t_3=3$ ;  $t_4=1$  (дн)

Изначально произведем графическое построение специализированного потока в форме циклограммы, что даст возможность определить основные временные параметры потока в соответствии с исходными данными. После уравнивания потока можно будет сравнить полученную общую продолжительность потока ( $T_0'$ ) с начальной ( $T_0$ )



## Решение

### 2.1 Уравновешивание кратноритмичных специализированных потоков по ускоренному ритму

Для выполнения процесса с максимальным ритмом определим общее потребное количество бригад:

$$N = \frac{t_{max}}{t_{min}} = \frac{3}{1} = 3$$

Общее число бригад:  $n^I = 6$  (1а, 2а, 3а, 3б, 3в, 4а).

Период развертывания потока:

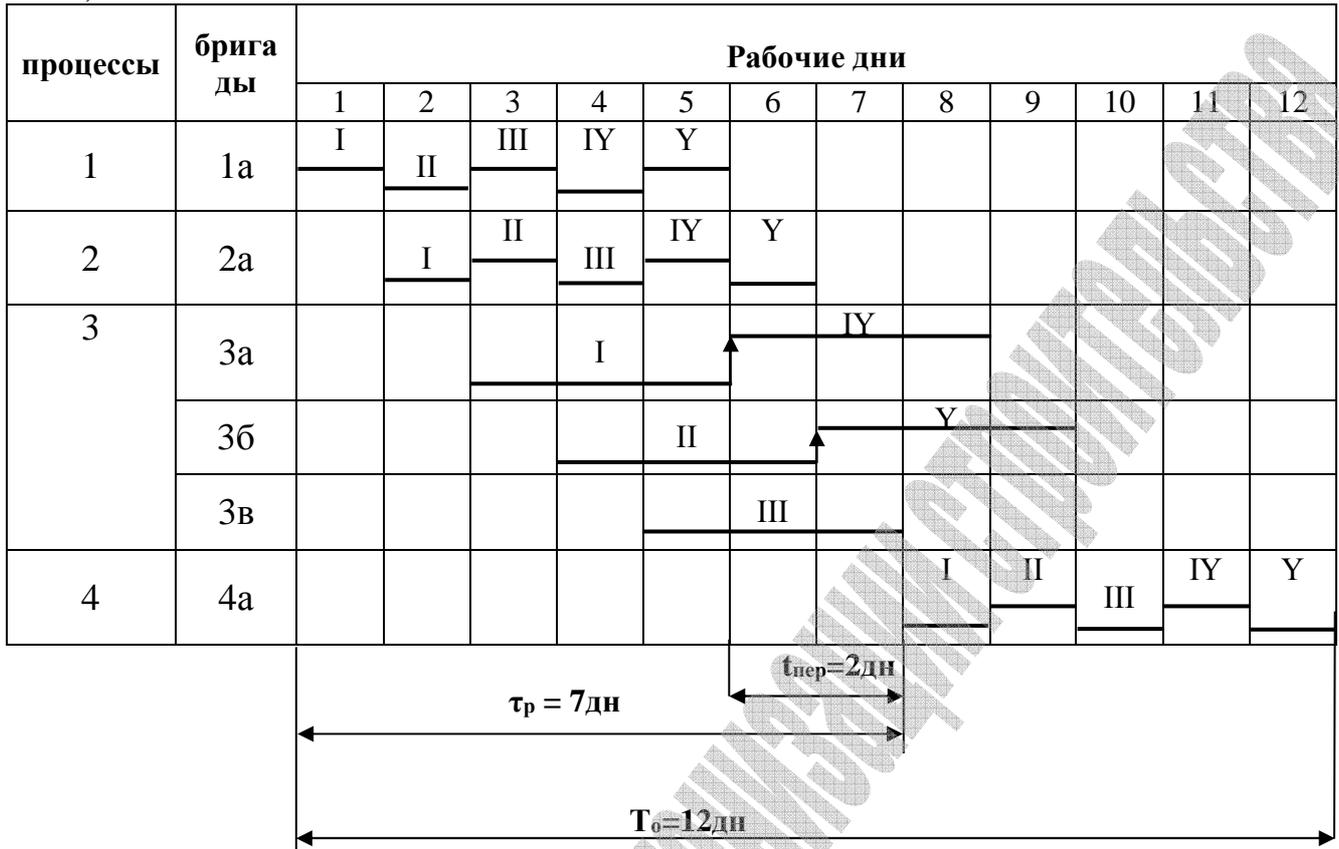
$$\tau_p = t_{min} \cdot (n^I - 1) + t_{неп} = 1 \cdot (6 - 1) + 2 = 7 \text{ (дней)}$$

Общая продолжительность потока после уравновешивания определится по формуле:

$$T_o^I = t_{min} (m + n^I - 1) + t_{неп} = 1 \cdot (5 + 6 - 1) + 2 = 12 \text{ (дней)}$$

Строим графики производства работ.

а) линейный



б) циклограмма

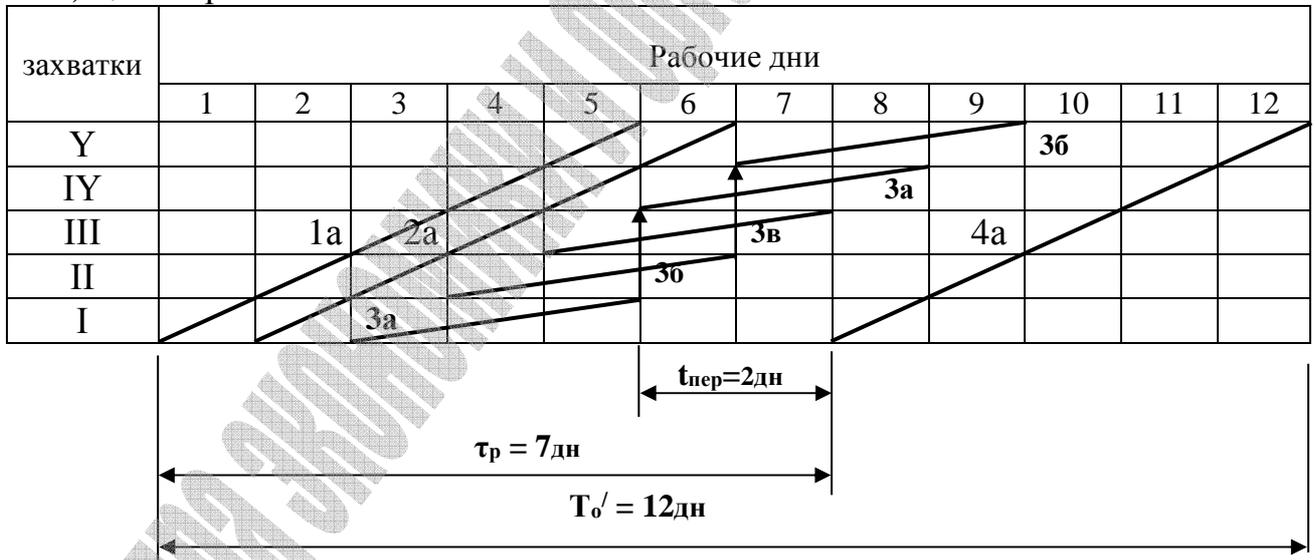


Рис. 6. Линейный график ( а) и циклограмма кратноритмичного специализированного потока при уравнивании его по ускоренному ритму.

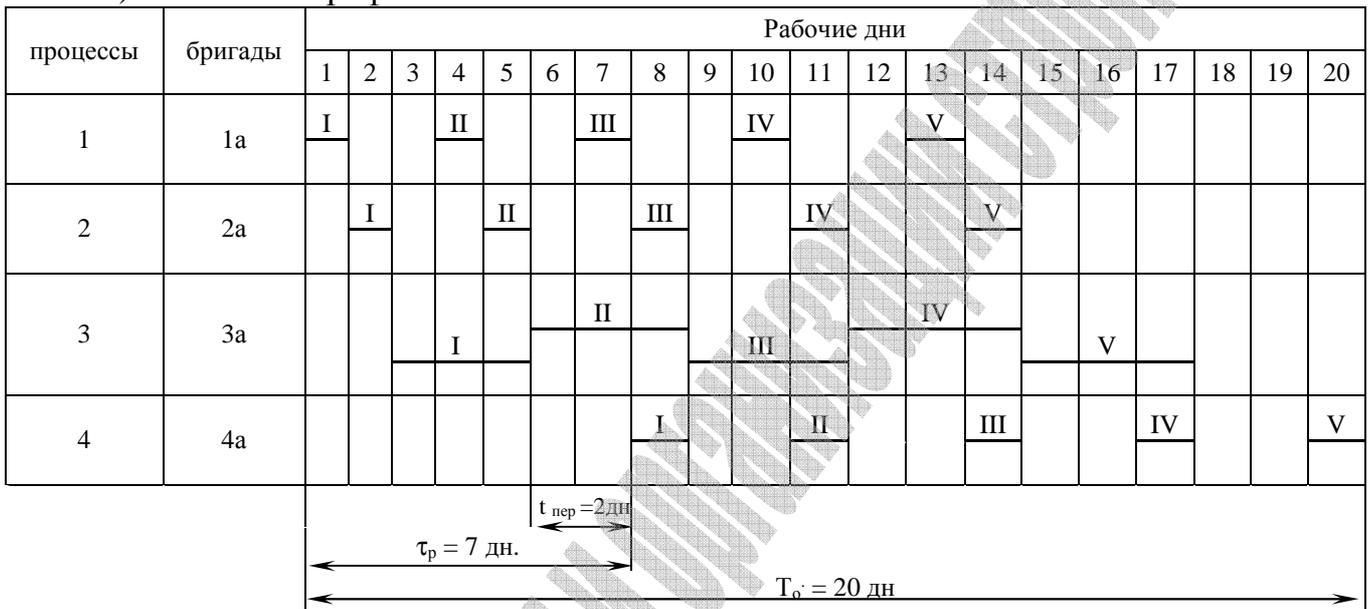
## 2.2 Уравновешивание кратноритмичных специализированных потоков по замедленному ритму

Уравновешивание по замедленному ритму достигается следующими путями:

- путем введения различной сменности для выполнения различных работ;
- путем вывода бригад на резервные объекты;
- путем введения различной системы захваток.

Строим графики производства работ.

а) линейный график



При выполнении 1-ого, 2-ого и 4-ого процессов бригады после выполнения установленного объема работ на соответствующих захватках высвобождаются на 2 дня для работы на других объектах.

б) циклограмма

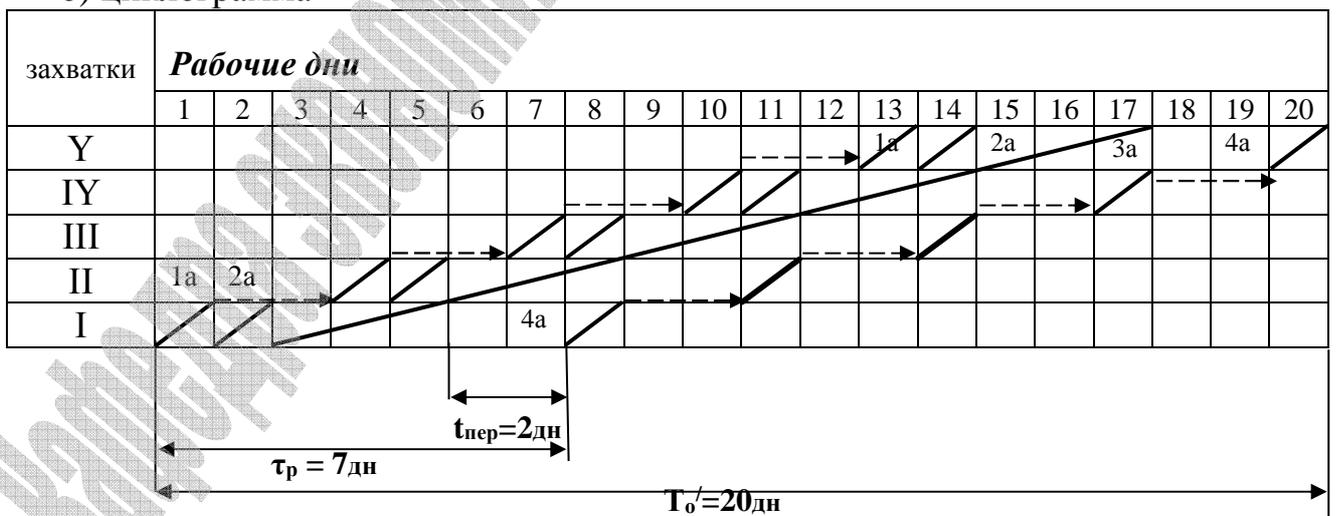


Рис.7 Линейный график ( а ) и циклограмма кратноритмичного специализированного потока при уравновешивании его по замедленному ритму.

**Задания для индивидуальной работы на лабораторных (практических) занятиях.**

**1. Организация специализированного потока с одинаковым ритмом работы бригад (равноритмичный поток).**

1. Состав работ по устройству монолитных конструкций:

- 1) опалубка;
- 2) армирование;
- 3) бетонирование;
- 4) распалубка.

2. Объемы работ на захватках одинаковые.

3. Между бетонированием и распалубкой предусмотреть технологический перерыв 3 дня.

4. Варианты заданий ( число захваток и ритм работы бригад указан в таблице 1.

Таблица 1.

Показатели	Варианты																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Число захваток(м)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	8	10	9	12	7
Ритм работы бригад (t), дн	6	3	4	2	1	1	3	2	1	5	7	4	4	2	3	3	5

продолжение таблицы

1.

Показатели	Варианты																	
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
Число захваток(м)	4	6	11	14	15	7	8	12	6	5	9	8	9	10	12	13	4	
Ритм работы бригад (t), дн	9	6	2	1	2	3	3	1	5	4	2	5	4	3	4	2	6	

**2. Организация потока с постоянным не единым, но кратным ритмом работы бригад (кратноритмичный поток)**

Организация потока по устройству автомобильной дороги.

1. Состав работ:

- 1) земляные работы;
- 2) установка бордюрного камня;
- 3) устройство песчаного основания;
- 4) устройство бетонной подготовки;
- 5) асфальтирование покрытия.

2. Объемы работ на захватках одинаковые.

3. Технологический перерыв между бетонной подготовкой и асфальтированием покрытия принять равным 3 дням.
4. Варианты заданий приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Показатели	Варианты																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Число захваток(м)	4	5	6	7	8	9	4	6	6	8	14	4	5	6	4	6	4
Ритмы работы бригад (t), дн																	
t <sub>1</sub>	2	4	3	8	5	6	8	6	9	4	2	10	10	12	12	6	14
t <sub>2</sub>	1	2	1	4	1	2	2	3	3	1	1	5	2	2	3	1	7
t <sub>3</sub>	1	2	1	4	1	2	2	3	3	1	1	5	2	2	3	1	7
t <sub>4</sub>	2	4	3	8	5	6	8	6	9	4	2	10	10	12	12	6	14
t <sub>5</sub>	1	2	1	4	1	2	2	3	3	1	1	5	2	2	3	1	7

продолжение таблицы 2.

Показатели	Варианты																
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Число захваток(м)	6	6	8	6	4	6	8	7	5	7	5	6	10	4	6	5	7
Ритмы работы бригад (t), дн																	
t <sub>1</sub>	5	18	7	12	12	2	8	12	30	14	16	16	4	18	15	20	4
t <sub>2</sub>	1	9	1	4	6	1	2	3	10	2	4	8	1	6	5	5	2
t <sub>3</sub>	1	9	1	4	6	1	2	3	10	2	4	8	1	6	5	5	2
t <sub>4</sub>	5	18	7	12	12	2	8	12	30	14	16	16	4	18	15	20	4
t <sub>5</sub>	1	9	1	4	6	1	2	3	10	2	4	8	1	6	5	5	2

*Примечание: количество захваток и значения ритмов при необходимости можно уменьшить.*

## Занятие 2. Расчет неритмичного специализированного потока.

Цель занятия: изучение практических навыков расчета и проектирования специализированных неритмичных потоков.

### 1. Теоретические основы расчета и проектирования специализированных неритмичных потоков с неоднородным ритмом.

При расчете неритмичных специализированных потоков определяют:

- временные параметры частных потоков,

- определяют на отдельных захватках технологические перерывы между смежными частными потоками и осуществляют временную увязку их до величины критического сближения, равного 0.

Существуют 4 метода расчета неритмичных потоков: *графический, аналитический, табличный и матричный*.

Наиболее эффективным и наименее трудоемким является матричный метод, где возможно использование ЭВМ.

Метод заключается в том, что вначале составляется матрица, содержащая сведения о временных параметрах всех входящих в специализированный поток частных потоков. В строках матрицы указываются процессы – **n** (частные потоки), входящие в специализированный поток, а в столбцах – захватки (**m**), на которых выполняются данные процессы.

В центре клеток матрицы записываются ритмы частных потоков (**t**) на отдельных захватках. В верхнем левом углу клетки указывается начало частного потока на захватке (**t<sub>n</sub>**), а в нижнем правом углу – его окончание на данной захватке (**t<sub>o</sub> = t<sub>n</sub> + t**).

Вначале рассчитывают начала (**t<sub>n</sub>**) и окончания (**t<sub>o</sub>**) первого частного потока на отдельных захватках. При расчете сроков начала и окончания процесса исходят из принципа непрерывности его выполнения, т.е. после окончания процесса на 1-ой захватке он начинается на 2-ой и т.д. Время начала 1-го процесса на первой захватке принимается равным нулю.

Затем увязывают начало второго процесса на 1-ой захватке (2-ой процесс начинается после окончания 1-ого процесса на захватке) **t<sub>n2</sub> = t<sub>o1</sub>** и рассчитывают начала (**t<sub>n</sub>**) и окончания (**t<sub>o</sub>**) 2-ого процесса на всех остальных захватках, не учитывая при этом сроки окончания 1-ого процесса на этих захватках.

После этого производят увязку окончания первого процесса с началом 2-ого процесса на всех захватках. Для этого рассчитывают сближения (технологические перерывы) потоков (**O**) на всех захватках:

$$O_{12} = t_{n2} - t_{o1},$$

Где: **O<sub>12</sub>**- сближение между 1 и 2 потоками;

**t<sub>n2</sub>** – начало 2-ого потока на захватке;

**t<sub>o1</sub>** – окончание 1-ого потока на той же захватке.

Если сближения между частными потоками положительные, то потоки увязаны правильно (2-ой процесс не опережает 1-ый процесс). Если значения отрицательные, то следует начало второго потока передвинуть на более позднее время, чтобы он не опережал 1-ый поток. Время, на которое следует перенести начало 2-ого процесса, определяется наибольшим по абсолютной величине отрицательным значением сближения на всех захватках. Сближение, равное нулю, называется **критическим**. Такое сближение между двумя потоками должно наблюдаться хотя бы на одной захватке. Значения сближений записывают по середине границы клеток.

После этого производится расчет новых значений начала и окончания 2-го процесса на отдельных захватках, а также значения сближений между 1

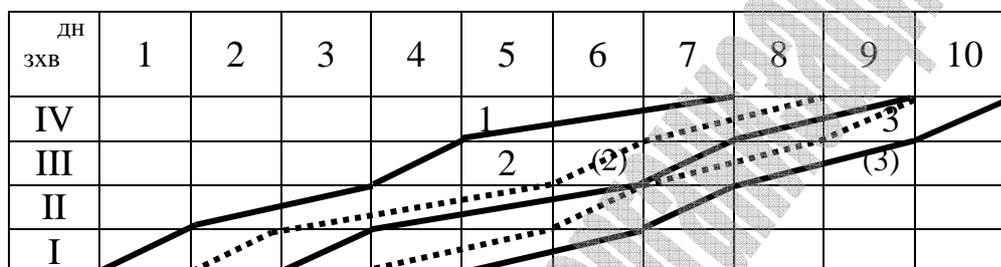
и 2 процессами (эти значения показывают в скобках.) Аналогично произведем расчет 3-го процесса и т.д.

## 2. Пример расчета

Выполняются три потока на 4 захватках со следующими ритмами

Процессы (n) Захватки(m)	1	2	3
I	1	1	2
II	2	3	1
III	1	1	2
IV	3	2	1

Для заданного специализированного потока построим циклограмму.



Пунктирной линией обозначены частные потоки до расчета, сплошной линией частные потоки после расчета критических сближений между отдельными потоками.

Рис. 8. Циклограмма неритмичного специализированного потока с неоднородным ритмом.

Выполним расчет неритмичного специализированного потока матричным методом.

Для этого составим матрицу и произведем расчет по изложенной методике

Процессы(n) Захватки (m)	1	2	3
I	0 1 1	1(1+1=2) 0(+1) 1 (3)2	3(3+1=4) 6(+1) 2 (6)5
II	1 2 3	2(3) -1(0) 3 (6)5	5(6) -1(0) 1 (7)6
III	3 1 4	5(6) +1(+2) 1 (7)6	6(7) -1(0) 2 (9)8
IV	4 3 7	6(7) -1(0) 2 (9)8	8(9) -1(0) 1 (10)9

После этого производим расчет общей продолжительности потока по формуле:

$$T_o = \sum_{i=1}^n t_i^I + \sum t^{I(\cdot)}_{nep} + \sum_{j=1}^m t_n^j$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$  (число частных потоков)

$j = I, II, III, \dots, m$  (число захваток)

$$T_o = (1+1)+(1+1)+(2+1+2+1)=10(\text{дн})$$

**Задания для индивидуальной работы на лабораторных (практических) занятиях по теме: «Расчет неритмичного специализированного потока»**

1. Организация потока по устройству подземной части здания.

2. Состав работ:

- 1) земляные работы;
- 2) монтаж конструкций фундаментов и подвала;
- 3) монтаж перекрытий над подвалом;
- 4) гидроизоляция;
- 5) обратная засыпка.

3. Варианты заданий представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Варианты	Общее число зданий (захваток) (m)	Процессы (n)	Ритм работы бригад на захватках, дн. (t)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	5	1	2	1	4	3	1				
		2	1	2	2	4	1				
		3	2	1	1	2	1				
		4	1	1	3	2	1				
		5	2	1	1	2	1				

2	6	1	4	2	3	3	2	1		
		2	2	1	2	2	1	1		
		3	1	1	2	2	1	1		
		4	1	2	2	1	2	1		
		5	1	1	2	2	1	1		
3	4	1	4	2	3	4				
		2	2	1	2	2				
		3	1	1	2	1				
		4	1	2	2	1				
		5	2	1	3	2				
4	7	1	2	3	4	5	4	3	1	
		2	2	2	3	3	2	1	2	
		3	1	1	2	2	1	1	2	
		4	1	1	2	1	1	2	2	
		5	2	2	1	1	2	3	2	
5	8	1	1	1	1	4	2	2	4	1
		2	1	1	1	2	1	1	2	1
		3	1	1	1	1	2	2	1	1
		4	1	1	1	1	2	2	1	1
		5	2	1	2	4	1	1	4	1
6	4	1	4	5	4	3				
		2	2	3	2	1				
		3	2	2	1	1				
		4	1	1	2	2				
		5	2	3	2	1				
7	5	1	5	2	3	2	5			
		2	2	1	1	1	2			
		3	2	2	1	2	2			
		4	1	1	1	2	1			
		5	1	1	1	1	1			
8	6	1	2	3	1	4	2	1		
		2	1	2	1	3	1	1		
		3	2	2	1	2	1	1		
		4	1	1	2	1	1	2		
		5	2	2	2	1	2	3		
9	4	1	5	2	4	3				
		2	3	1	2	2				
		3	2	2	2	1				
		4	1	1	1	2				
		5	2	2	1	1				
10	7	1	3	1	2	3	2	1	3	
		2	1	1	3	2	1	1	2	
		3	3	2	2	2	1	2	2	
		4	2	1	2	2	2	1	2	

		5	2	1	1	2	1	1	2	
11	5	1	3	1	1	3	1			
		2	1	2	2	1	2			
		3	2	3	4	2	1			
		4	1	2	3	1	1			
		5	1	1	2	1	1			
12	8	1	2	2	2	1	1	1	3	3
		2	1	1	1	1	1	1	2	2
		3	2	2	2	2	2	2	1	3
		4	2	1	1	1	2	3	1	1
		5	2	2	2	1	1	1	2	2
13	6	1	2	1	1	2	1	1		
		2	1	1	1	2	2	2		
		3	1	2	1	2	1	1		
		4	2	1	2	1	2	1		
		5	1	2	1	2	1	2		
14	5	1	1	5	2	3	4			
		2	2	1	3	2	3			
		3	2	2	2	1	2			
		4	1	1	1	2	1			
		5	1	2	3	1	2			
15	4	1	2	4	2	6				
		2	1	3	1	4				
		3	2	2	1	2				
		4	1	2	1	2				
		5	1	1	2	1				

## 2. Организация потока по устройству кровли.

### 1. Состав работ:

- 1) устройство пароизоляции;
- 2) укладка утеплителя;
- 3) устройство цементной стяжки;
- 4) наклейка рулонного ковра.

### 4. Варианты заданий представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Варианты	Общее число зданий (захваток) (m)	Процессы (n)	Ритм работы бригад на захватках, дн. (t)						
			1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	7	1	4	5	1	3	2	3	5
		2	1	3	1	2	1	2	4
		3	2	4	2	3	1	2	3
		4	2	3	2	2	1	2	3

Продолжение табл.4

17	4	1	2	7	3	5			
		2	3	2	2	3			
		3	2	4	1	2			
		4	1	5	2	4			
18	5	1	2	1	3	2	4		
		2	1	2	1	3	2		
		3	1	3	2	1	2		
		4	2	1	3	1	3		
19	6	1	3	1	4	1	2	3	
		2	2	2	3	2	1	2	
		3	3	1	1	1	1	2	
		4	3	1	3	1	1	2	
20	4	1	2	2	4	1			
		2	1	1	2	1			
		3	2	2	3	2			
		4	2	2	3	1			
21	7	1	1	3	2	1	3	2	1
		2	2	2	1	2	2	1	1
		3	1	2	3	1	2	3	2
		4	2	3	4	1	2	1	2
22	5	1	1	3	1	3	1		
		2	1	2	1	2	1		
		3	2	3	2	4	2		
		4	3	4	2	4	2		
23	6	1	2	4	5	4	3	1	
		2	1	2	3	2	2	2	
		3	3	5	3	1	2	1	
		4	2	3	2	2	1	1	
24	4	1	2	3	1	2			
		2	1	1	2	2			
		3	3	1	4	1			
		4	3	2	1	2			
25	5	1	1	5	1	5	1		
		2	2	3	2	3	2		
		3	2	4	1	4	2		
		4	2	3	2	3	2		
26	6	1	1	2	4	3	1		
		2	2	1	1	2	1		
		3	1	2	3	2	1		
		4	2	3	4	2	2		
27	7	1	1	3	2	6	2	4	1
		2	2	1	1	4	1	2	1
		3	2	1	2	3	2	1	2
		4	2	2	3	5	2	3	2
28	4	1	1	4	2	6			
		2	2	3	1	3			
		3	1	2	1	4			
		4	2	4	1	4			

29	5	1	2	3	5	2	3		
		2	1	2	3	1	2		
		3	2	4	3	2	2		
		4	2	3	2	1	2		
30	6	1	3	1	1	2	4	2	
		2	2	1	2	3	3	1	
		3	1	2	2	3	2	1	
		4	2	1	2	1	3	1	
31	4	1	3	3	5	3			
		2	2	2	4	3			
		3	4	4	7	2			
		4	2	3	4	2			
32	7	1	1	1	1	3	3	2	2
		2	2	3	3	2	2	1	1
		3	1	2	2	1	3	1	2
		4	2	3	3	2	2	1	1

*Примечание: количество захваток при необходимости можно уменьшить.*

## **Тема №2. Сетевое моделирование в строительстве.**

### **Занятие 1. Основные элементы и правила построения сетевых моделей.**

Цель занятия: *изучение теоретических основ сетевого планирования, овладение практическими навыками построения сетевых моделей выполнения комплекса СМР при строительстве отдельных объектов.*

#### **1. Теоретические основы сетевого планирования**

Сетевая модель изображается в виде стрелочной диаграммы, состоящей из стрелок и кружков или других геометрических фигур. В основе построения сети лежат два понятия: *событие и работа*.

**Событие** – это факт начала или окончания одной или нескольких работ. События изображаются кружками или другими геометрическими фигурами, внутри которых указывается определенный номер – код события. События ограничивают работу и по отношению к ней могут быть начальными и конечными.

**Начальное событие** работы (1) определяет начало данной работы и является конечным для всех предшествующих работ.

**Конечное событие** работы (2) определяет окончание данной работы и является начальным для последующих работ.

В сетевой модели есть два особых события:

- **исходное событие сетевой модели** – это событие, которое не имеет предшествующих работ, т.е. в него не входит ни одна работа;
- **завершающее событие сетевой модели** – это событие, которое не имеет последующих работ, т.е. из него не выходит ни одна работа.

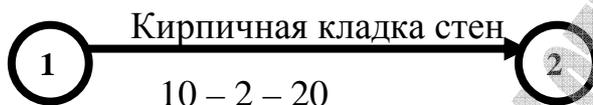
Непрерывная последовательность работ в сетевой модели образует **путь**.

Путь от исходного события до завершающего называется **полным путем**.

Полный путь максимальной продолжительности называется **критическим путем** и определяет продолжительность строительства.

**Работа** – это производственный процесс, требующий затрат времени и ресурсов и приводящий к достижению определенных результатов.

Изображается работа одной сплошной стрелкой. Над стрелкой указывается наименование работы, под стрелкой – продолжительность – число смен – количество рабочих в смену .



**Ожидание** – это технологический или организационный временной перерыв между действительными работами.



**Зависимость** (фиктивная работа) - элемент сетевой модели, который вводится для отражения взаимосвязей между работами и не требует затрат никаких ресурсов.

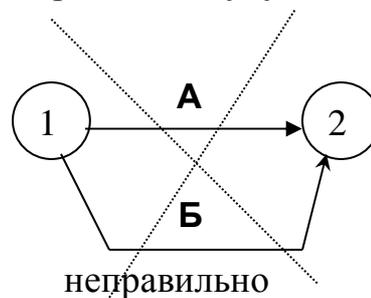
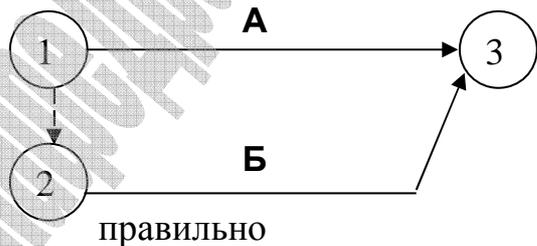


Рассмотрим **основные правила построения сетевых моделей**:

1. Направление стрелок в сетевой модели принимается слева направо и по вертикали.

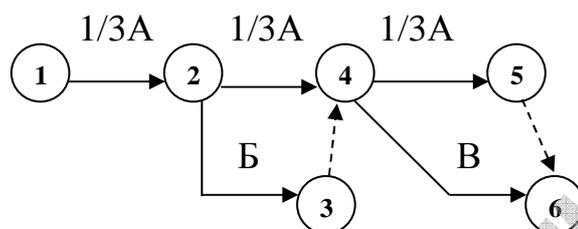
2. Форма графика должна быть простой, без лишних пересечений, большинство работ следует изображать горизонтальными линиями.

При изображении параллельных работ следует вводить в сетевой график дополнительно событие и зависимость, иначе работы будут иметь одинаковый код.

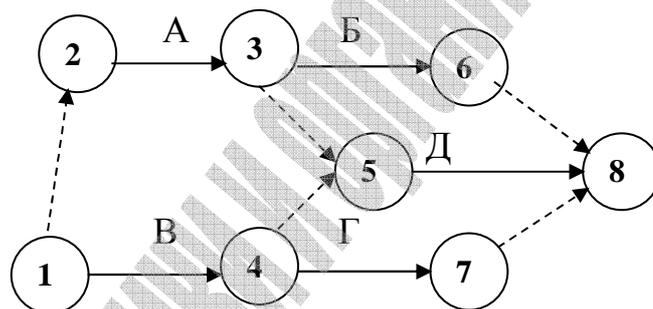


4. Если какие-либо работы можно начать после частичного выполнения предшествующей работы, то последнюю следует разбить на части, каждая из которых рассматривается как самостоятельная работа, например:

если работу В можно начать после выполнения  $1/3$  работы А, а работу В – после  $2/3$  работы А. Графически это можно изобразить следующим образом:



5. Если после окончания работы А, можно начать работу В, после окончания работы В можно начать работу Г, а для начала работы Д необходим результат завершения работ А и В, то это изображается следующим образом:

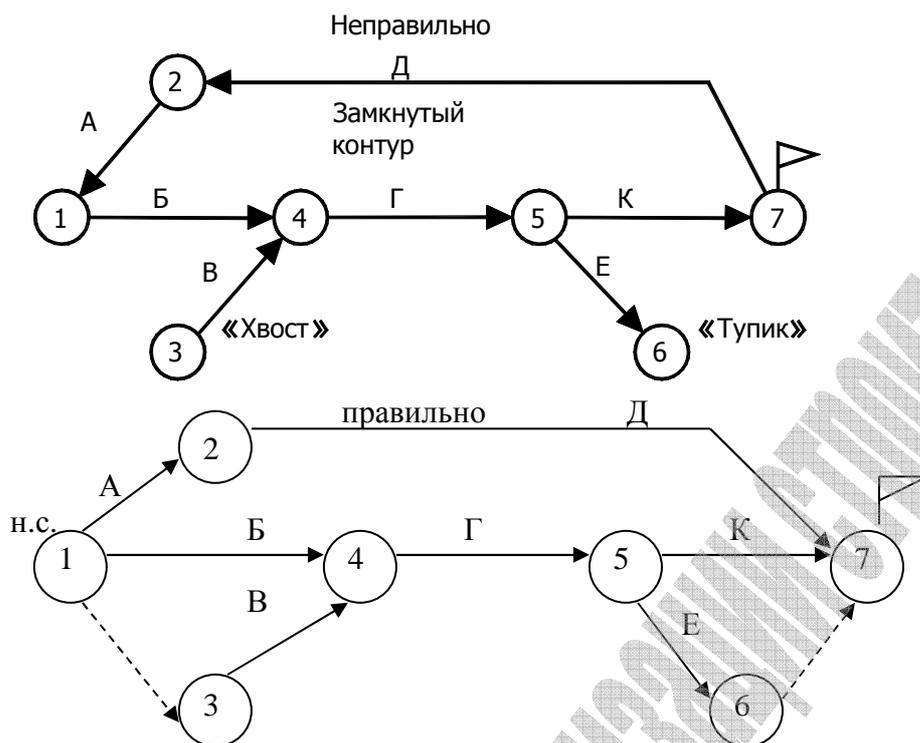


6. В сетевой модели не должно быть « тупиков», « хвостов» и « замкнутых контуров».

**Тупик** – это событие, кроме завершающего, из которого не выходит ни одна работа.

**Хвост** – это событие, кроме начального, в которое не входит ни одна работа.

**Замкнутый контур** – неправильное направление стрелок в сетевой модели, когда работы возвращаются к событию, из которого они вышли.



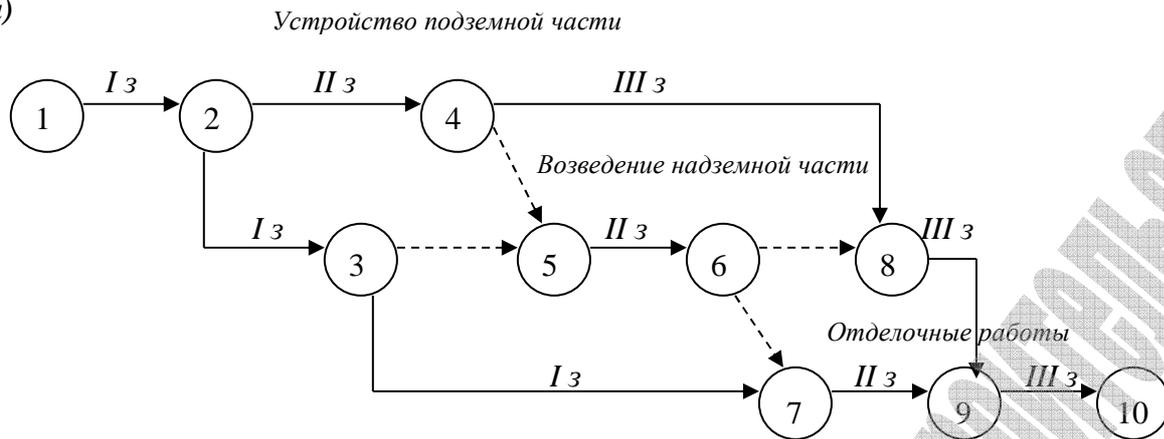
7. Правило изображения поточных методов организации производства работ.

**При изображении поточных методов организации производства работ особое внимание уделяется правильной разбивке объемов работ на отдельные захваты и выявлению технологических взаимосвязей между этими работами.**

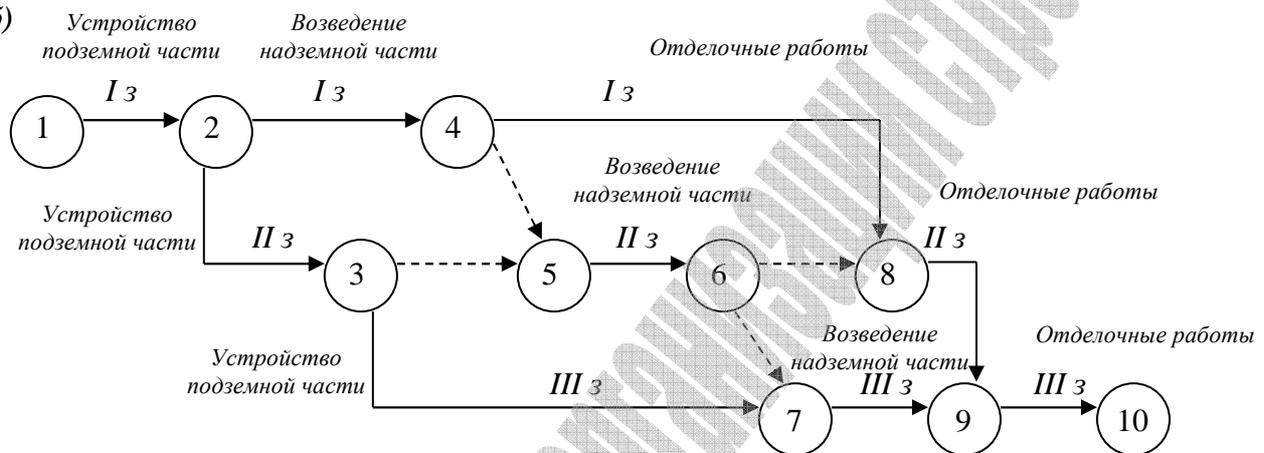
На горизонтальном участке сетевой модели могут быть показаны или одинаковые работы на всех захватках, или весь комплекс работ на одной захватке.

При построении сетевой модели следует избегать так называемых «технологических прострелов», т.е. таких взаимосвязей между работами, когда начало ниже расположенных работ зависит не от конкретной предшествующей работы, а от всех выше расположенных работ. Для этого все работы рекомендуется показывать со своими начальными и конечными событиями, особенно в средних рядах модели. ( см. рис 9а,б).

а)



б)



**Рис. 9. Правило изображения поточных методов организации производства работ**

а)- с горизонтальным расположением одинаковых работ

б)- с вертикальным расположением одинаковых работ

8. Нумерация событий должна соответствовать последовательности работ во времени, т.е. номер начального события работы должен всегда быть меньше номера конечного события данной работы. (см. рис.9)

9. Укрупнение работ на сетевой модели должно производиться с соблюдением следующих правил:

- группа работ может быть показана как одна работа, если у нее есть одно общее начальное и одно общее завершающее событие;
- укрупнять в одну работу можно только те работы, которые выполняются одним исполнителем(звено, бригада);
- продолжительность укрупненной работы равна наибольшей продолжительности пути от начального до завершающего события данной группы работ.

**Варианты заданий по теме занятия «Основные элементы и правила построения сетевых моделей»**

1.1. Построить фрагмент сетевой модели, используя исходные данные таблицы 5.

Таблица 5

<i>Варианты</i>	<i>Работы</i>		<i>Варианты</i>	<i>Работы</i>	
	рассматриваемая	последующая		рассматриваемая	последующая
1	2	3	4	5	6
<b>1</b>	<i>A</i> <i>Б</i> $\frac{1}{2}$ <i>Б</i> <i>Б,С,Д</i>	<i>Б,В</i> <i>С</i> <i>Д</i> <i>Е</i>	<b>10</b>	<i>A</i> $\frac{1}{2}$ <i>Б</i> <i>Б</i> <i>В,С,Д</i>	<i>Б</i> <i>В</i> <i>С,Д,Е</i> <i>К</i>
<b>2</b>	$\frac{1}{2}$ <i>A</i> <i>Б</i> $\frac{1}{2}$ <i>В</i> <i>А,Д</i>	<i>Б</i> <i>В</i> <i>Г,Д</i> <i>Е</i>	<b>11</b>	<i>A</i> <i>Б</i> $\frac{1}{2}$ <i>Д</i> <i>Д,Е</i>	<i>Б</i> <i>В,Г,Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>
<b>3</b>	<i>A</i> $\frac{1}{2}$ <i>A</i> <i>В,Г</i> <i>В,Д</i>	<i>Б</i> <i>В,Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>	<b>12</b>	<i>A</i> <i>Б</i> $\frac{1}{2}$ <i>Г</i> <i>В,Г,Д</i>	<i>Б,В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>
<b>4</b>	<i>A</i> <i>Б,В</i> <i>В,Г</i> <i>Е,Д</i>	<i>Б,В,Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>	<b>13</b>	$\frac{1}{2}$ <i>A</i> $\frac{1}{2}$ <i>Б</i> $\frac{1}{2}$ <i>В</i> <i>А,Б,Г</i>	<i>Б</i> <i>В</i> <i>Г</i> <i>Д</i>
<b>5</b>	<i>A</i> $\frac{1}{2}$ <i>A</i> <i>Б,Г</i> <i>В,Д</i>	<i>Б,В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>	<b>14</b>	$\frac{1}{2}$ <i>A</i> <i>Б</i> <i>А,Г</i> <i>В</i> <i>Е,Д</i>	<i>Б</i> <i>В,Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>
<b>6</b>	<i>A</i> <i>Б</i> $\frac{1}{2}$ <i>В,Г</i> <i>В,Д</i>	<i>Б</i> <i>В,Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>	<b>15</b>	<i>A</i> $\frac{1}{2}$ <i>Б</i> , $\frac{1}{2}$ <i>В</i> <i>Б,В</i> <i>Д,Г</i>	<i>Б,В,Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>
<b>7</b>	$\frac{1}{2}$ <i>A</i> <i>A</i> <i>Б,В</i> <i>В,Г</i>	<i>Б</i> <i>В,Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>	<b>16</b>	<i>A</i> <i>Б</i> $\frac{1}{2}$ <i>В</i> <i>В,Г</i> <i>Д,Е</i>	<i>Б,В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>
<b>8</b>	$\frac{1}{2}$ <i>A</i> <i>A</i> <i>Б,Г</i> <i>В,Д</i> <i>Е</i>	<i>Б,В</i> <i>Г,Д</i> <i>Е</i> <i>Л</i> <i>К</i>	<b>17</b>	<i>A</i> $\frac{1}{2}$ <i>Б</i> <i>Б,В</i> $\frac{1}{2}$ <i>Г</i> <i>Г,Д</i>	<i>Б</i> <i>В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>
<b>9</b>	$\frac{1}{2}$ <i>A</i> $\frac{1}{2}$ <i>Б</i> <i>Б</i> <i>В,Г</i> <i>Г,Д</i>	<i>Б</i> <i>В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>	<b>18</b>	<i>A</i> <i>Б,В</i> $\frac{1}{2}$ <i>В</i> , <i>Г</i> <i>Е,Д</i>	<i>Б,В,Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>

Продолжение табл.5

19	<i>A</i> <i>½ B, B</i> <i>Г</i> <i>½ Д, Б</i>	<i>Б, В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>	26	<i>A</i> <i>½ Б</i> <i>Б, Г</i> <i>½ Д, В</i>	<i>Б</i> <i>В, Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>
20	<i>A</i> <i>½ Б,</i> <i>Б, ½ В</i> <i>Г, В</i> <i>Б, Г, Д</i>	<i>Б</i> <i>В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>	27	<i>A</i> <i>½ Б</i> <i>½ В</i> <i>Г, Д</i> <i>В, Г</i>	<i>Б, В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>
21	<i>A</i> <i>½ А</i> <i>Б, В</i> <i>½ Г</i> <i>В, Е</i> <i>Г, Е</i>	<i>Б</i> <i>В</i> <i>Г</i> <i>Д, Е</i> <i>К</i> <i>Л</i>	28	<i>½ А</i> <i>А, Б</i> <i>½ В</i> <i>В, Г</i> <i>А, ½ Д</i> <i>Д, Е</i>	<i>Б</i> <i>В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>
22	<i>A</i> <i>½ Б</i> <i>Б, Г</i> <i>В, Г</i> <i>Е, Д</i>	<i>Б, В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>	29	<i>½ А</i> <i>½ Б</i> <i>А, Б</i> <i>Г, Д</i>	<i>Б</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>К</i>
23	<i>A</i> <i>½ Б</i> <i>Б, В</i> <i>½ Г</i> <i>Г, Е</i> <i>Д, Е</i>	<i>Б</i> <i>В</i> <i>Г</i> <i>Д, Е</i> <i>К</i> <i>Л</i>	30	<i>А, Б</i> <i>В</i> <i>А, ½ Г</i> <i>Г, Д</i> <i>Д, Е</i>	<i>В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>
24	<i>A</i> <i>½ А</i> <i>Б, В</i> <i>½ Б, ½ В</i> <i>А, Г</i>	<i>Б</i> <i>В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>	31	<i>A</i> <i>½ Б</i> <i>½ В</i> <i>В, Г</i> <i>Г, Д</i>	<i>Б</i> <i>В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i>
25	<i>½ А</i> <i>А, В</i> <i>А, Б</i> <i>½ Г, ½ А</i> <i>Г, Д, Е</i>	<i>Б, В</i> <i>Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>	32	<i>½ А</i> <i>А</i> <i>½ Г, Б</i> <i>Г, Д</i> <i>В, Е</i>	<i>Б</i> <i>В, Г</i> <i>Д</i> <i>Е</i> <i>К</i>

1.2. Используя исходные данные таблицы 6 построить и рассчитать фрагмент сетевой модели выполнения комплекса работ при строительстве отдельного объекта (комплекса объектов).

Таблица 6

Варианты	Наименование объекта или вида работ	Число захваток	Наименование работ	Продолжительность выполнения работы на одной захватке	Количество исполнителей	Число смен в сутки
1	2	3	4	5	6	7
1	Жилой дом ( нулевой цикл)	4	1.Земляные работы 2.Монтаж фундаментов 3.Гидроизоляция 4.Обратная засыпка	2 6 3 1	4 6 2 2	2 2 1 1
2	Нулевой цикл	4	1.Земляные работы 2.Устройство свайного фундамента 3.Устройство ростверка 4. Обратная засыпка	2 4 5 2	4 6 4 4	2 2 2 1
3	Одноэтажное производственное здание	3 по пролетам	1.Монтаж колонн 2.Монтаж ферм и плит 3.Монтаж стеновых панелей (по сторонам) 1 – 3 2 – 4 (работают 2 крана)	4 8 2 4	4 6 4 4	2 2 2 2
4	Одноэтажное производственное здание	4	1.Монтаж колонн 2.Монтаж ферм и плит 3.Монтаж стеновых панелей (по сторонам) 1 – 3 2 – 4 (монтаж 2 кранами) 4. Кровельные работы	2 4 3 5 4	5 6 4 4 6	2 2 2 2 1
5	3-х этажный 2-х секционный жилой дом	секция в пределах этажа	1.Кирпичная кладка 2.Монтаж перекрытий и лестниц 3.Устройство кровли	6 4 4	10 5 6	2 2 1
6	3-х этажный 2-х секционный жилой дом	секция в пределах этажа	1.Устройство перегородок 2.Столярно-плотничные работы 3.Подготовка под полы	6 4 3	4 6 4	2 1 1
7	3-х этажный 4-х секционный жилой дом	секция	1.Штукатурные работы 2.Облицовочные работы 3.Малярные работы 4.Линолеумные полы	10 4 6 2	8 6 6 4	1 1 1 1
8	Кровельные работы	4	1.Пароизоляция 2.Утепление 3.Стяжка 4.Рулонный ковер	4 6 4 4	4 4 2 6	1 1 1 1
9	3-х этажное административное здание	по этажам	1.Штукатурные работы 2.Облицовочные работы 3.Паркетные полы 4.Малярные работы 5.Подвесной потолок	10 6 10 8 4	12 4 4 10 4	1 1 1 1 1

продолжение таблицы 6.

1	2	3	4	5	6	7
10	Комплекс жилых домов	4	1.Подземная часть 2.Надземная часть 3.Специальные работы 4.Отделочные работы	10 20 5 10	10 10 4 20	2 2 1 1
11	Комплекс жилых домов	4	1.Подземная часть 2.Надземная часть ( работают 2 бригады) 3.Специальные работы 4.Отделочные работы	10 15 4 20	6 10 5 10	2 2 1 1
12	3-х этажный 4-х секцион- ный жилой дом	секция	1.Штукатурные работы (работают 2 бригады) 2.Облицовочные работы 3.Малярные работы 4.Линолеумные полы	10 4 6 2	8 6 6 4	1 1 1 1
13	Кровельные работы	4	1.Пароизоляция 2.Утепление (работают 2 звена параллельно) 3.Стяжка 4.Рулонный ковер	4 6 4 4	4 4 2 6	1 1 1 1
14	Одноэтажное производствен ное здание	3 по пролетам	1.Монтаж колонн 2.Монтаж ферм и плит 3.Монтаж стеновых панелей (по сторонам) 1 – 3 2 – 4 (работают 3 крана)	5 8 2 5	4 6 4 4	2 2 2 2
15	Одноэтажное производствен ное здание	3 по пролетам	1.Монтаж колонн 2.Монтаж ферм и плит 3.Монтаж стеновых панелей (по сторонам) 1 – 3 2 – 4 (кол-во кранов любое)	4 10 2 6	4 6 4 4	2 2 2 2
16	Монолитные конструкции	4	1.Опалубка 2.Армирование 3.Бетонирование 4.Распалубка	4 2 10 2	6 4 6 2	1 1 2 1
17	Монолитные конструкции	4	1.Опалубка 2.Армирование 3.Бетонирование работают 2 бригады) 4.Распалубка	4 2 10 2	6 4 6 2	1 1 2 1
18	Автомобильная дорога	3	1.Земляные работы 2.Установка бортового камня 3.Песчаное основание 4.Бетонное основание 5.Асфальтобет. покрыт	2 2 4 4 4	4 4 6 4 4	1 1 1 2 1

Продолжение табл.6

1	2	3	4	5	6	7
19	Инженерные сети ВиК	3	1. Земляные работы 2. Укладка труб и установка арматуры 3. Устройство колодцев 4. Испытание 5. Обратная засыпка	2 6 4 1 2	4 6 5 3 4	1 2 1 1 1
20	Торговый центр	3	1. Устр-во перегородок 2. Столярно-плотничные работы 3. Остекление 4. Устройство витражей	10 8 2 4	4 4 4 5	2 1 1 1
21	Многоэтажное производственное здание	4 по этажам	1. Монтаж каркаса 2. Установка стеновых панелей и окон. блоков 3. Заполнение дверных проемов 4. Кровля	10 5 4 10	6 5 6 8	2 2 1 1
22	Многоэтажное производственное здание	3 по этажам	1. Штукатурные и облицовочные работы 2. Устройство подвесных потолков 3. Устр - во мозаичных полов 4. Уство дощатых полов 5. Малярные работы	6 7 5 8 4	12 6 6 4 10	1 1 1 1 1
23	Кровельные работы	4	1. Устройство стропил 2. Пароизоляция и утепление кровли 3. Укладка черепицы 4. Устройство мелких покрытий их стали	5 2 8 2	6 4 6 2	1 1 1 1
24	Монолитные резервуары	3	1. Земляные работы 2. Устройство основания 3. Устройство днища 4. Устройство стен 5. Испытание и отделка	2 4 4 4 2	6 6 6 4 4	2 2 2 2 1
25	Монолитные резервуары	4	1. Земляные работы 2. Устройство основания 3. Устройство днища и стен ( работают 2 бригады ) 5. Испытание и отделка	2 4 6 2	4 4 6 4	1 2 2 1
26	Прокладка электросети	4	1. Рытье траншей 2. Устройство постели и укладка кабелей. 3. Монтаж сетей и осветительных опор 4. Обратная засыпка	3 4 5 1	6 4 6 2	1 1 1 1

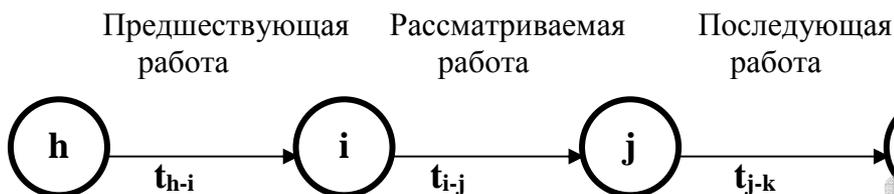
Продолжение табл.6

1	2	3	4	5	6	7
27	3-х этажный 4-х секцион- ный жилой дом	Секция	1.Штукатурные работы 2.Облицовочные работы 3.Малярные работы 4.Линолеумные полы (все работы выполняются 2 бригадами)	10 6 8 4	12 8 12 8	1 1 1 1
28	Прокладка теплосетей	4	1.Разработка траншей и котлованов 2.Устройство каналов и колодцев 3.Укладка труб и испытание сетей 4.Изоляция труб 5.Обратная засыпка	4 5 4 4 1	4 6 5 6 2	2 1 1 1 2
29	2-х этажный 4-х секцион- ный жилой дом	секция в пределах этажа	1.Кирпичная кладка 2.Монтаж перекрытий 3.Общестроительные работы	6 2 8	8 4 6	2 2 1
30	Одноэтажное производствен- ное здание	3 по пролетам	1.Подготовка под кровлю 2.Устройство кровли 3.Столярно-плотничные работы 4.Бетонные полы	10 6 8 12	6 8 6 10	1 1 1 2
31	Одноэтажное производствен- ное здание	3 по пролетам	1.Заполнение проемов 2.Устройство перегородок 3.Бетонные полы 4.Отделка	6 4 10 5	4 6 12 8	1 2 2 1
32	5-х этажный 3-х секцион- ный жилой дом	секция	1.Штукатурные работы 2.Облицовочные работы 3.Малярные работы 4.Наклейка обоев 5.Дощатые полы	10 5 6 4 10	8 6 10 6 6	1 1 1 1 1

## Занятие 2. Секторный метод расчета временных параметров сетевых графиков.

Цель занятия: *овладение навыками расчета временных параметров секторным методом.*

## 1. Временные параметры сетевых графиков



**i-j** – код рассматриваемой работы;

**h-i** – код предшествующей работы;

**j-k** – код последующей работы;

$t_{i-j}$  – продолжительность рассматриваемой работы i-j ;

$t_{h-i}$  – продолжительность предшествующей работы h-i;

$t_{j-k}$  – продолжительность последующей работы j-k;

$t_{i-j}^{pn}$  - раннее начало работы i-j; - самое раннее время возможного начала работы i-j при условии выполнения всех необходимых предшествующих работ;

$t_{i-j}^{po}$  - раннее окончание работы i-j; - время окончания работы i-j при условии , что она начата в ранние сроки;

$t_{i-j}^{nn}$  - позднее начало работы i-j – самый поздний сроков возможного начала работы i-j при котором не увеличивается общая продолжительность строительства по графику;

$t_{i-j}^{no}$  - позднее окончание работы i-j - время окончания работы i-j , если она начата в поздние сроки;

**$R_{i-j}$**  –общий резерв времени работы i-j; - время на которое можно перенести начало работы i-j на более поздние сроки или увеличить ее продолжительность, не изменяя общую продолжительность работ по графику (продолжительность критического пути);

**$r_{i-j}$**  - частный резерв времени работы i-j - время на которое можно перенести начало работы i-j на более поздние сроки или увеличить ее продолжительность, не изменяя при этом ранних начал последующих работ.

$t_{кр}$ - продолжительность критического пути.

Расчет вышеуказанных временных параметров производится по следующим формулам:

$$t_{i-j}^{pn} = \max (t_{h-i}^{pn} + t_{h-i}) = \max t_{h-i}^{po} ;$$

$$t_{i-j}^{po} = t_{i-j}^{pn} + t_{i-j} ;$$

$$t_{i-j}^{no} = \min (t_{j-k}^{no} - t_{j-k}) = \min t_{j-k}^{nn} ;$$

$$t_{i-j}^{nn} = t_{i-j}^{no} - t_{i-j} ;$$

$$R_{i-j} = t_{i-j}^{no} - (t_{i-j}^{pn} + t_{i-j}) = t_{i-j}^{no} - t_{i-j}^{po} = t_{i-j}^{nn} - t_{i-j}^{pn} ;$$

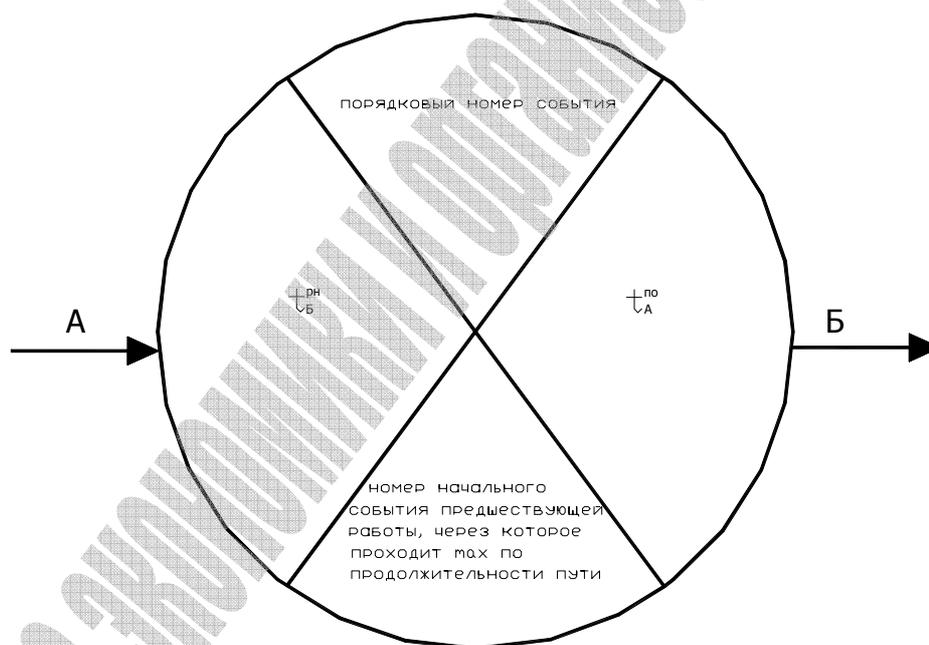
$$r_{i-j} = t_{j-k}^{pn} - (t_{i-j}^{pn} + t_{i-j}) = t_{j-k}^{pn} - t_{i-j}^{po} ;$$

Резервы времени имеют некоторые особенности:

- если у какой-либо работы использовать общий резерв времени, то у всех последующих работ соответственно изменятся резервы времени;
- если у какой-либо работы использовать частный резерв времени, то резервы времени последующих работ не изменяются;
- корректируя сетевые графики по частным резервам времени, не требуется пересчета временных параметров сетевого графика, а при корректировке по общим резервам времени требуется пересчет временных параметров сетевого графика.

## 2. Расчет временных сетевых графиков секторным методом

При расчете временных параметров сетевого графика секторным методом каждое событие делится на четыре сектора и все результаты расчета записываются непосредственно на самом графике, что определяет высокую наглядность этого метода.



### Порядок расчета:

- 1 – нумеруем все события, согласно установленного правила;
- 2 – по приведенной выше формуле определяем значения ранних начал работ и записываем их в левый сектор начального события работы;

Ранние начала начальных работ сетевой модели принимается равным нулю. Одновременно заполняется нижний сектор события, куда проставляется номер начального события предшествующей работы, через которое проходит max по продолжительности путь;

**3** – в завершающем событии сетевого графика значения левого сектора определяет общий срок строительства по графику, поэтому оно приравнивается со значением позднего окончания завершающих работ сетевого графика, т.е. в завершающем событии значения левого и правого секторов должны быть одинаковыми;

**4** – правые сектора заполняем, вычитая из значения правого сектора конечного события работы продолжительность работы и, если из события выходят несколько работ, то расчет производим для каждой работы и из всех значений выбираем наименьшее. Расчет ведется от завершающего события сетевого графика к исходному, двигаясь против направления стрелок. При правильном расчете в исходном событии сетевого графика в обоих секторах получаются нулевые значения;

**5** – общий резерв времени определяется вычитанием из значения правого сектора конечного события работы значения левого сектора начального события работы и продолжительности этой работы;

**6** – частный резерв времени определяется вычитанием из значения левого сектора конечного события работы значения левого сектора начального события работы и ее продолжительности. Если у работы значения правого и левого секторов конечного события работы равны, то значения общего и частного резервов времени одинаковые;

**7** определяются критические работы (общий и частный резервы времени у которых равны нулю) и отмечается на графике критический путь. Критический путь должен проходить от исходного до завершающего события сетевого графика.

Рассмотрим пример расчета сетевого графика секторным методом на конкретной сетевой модели

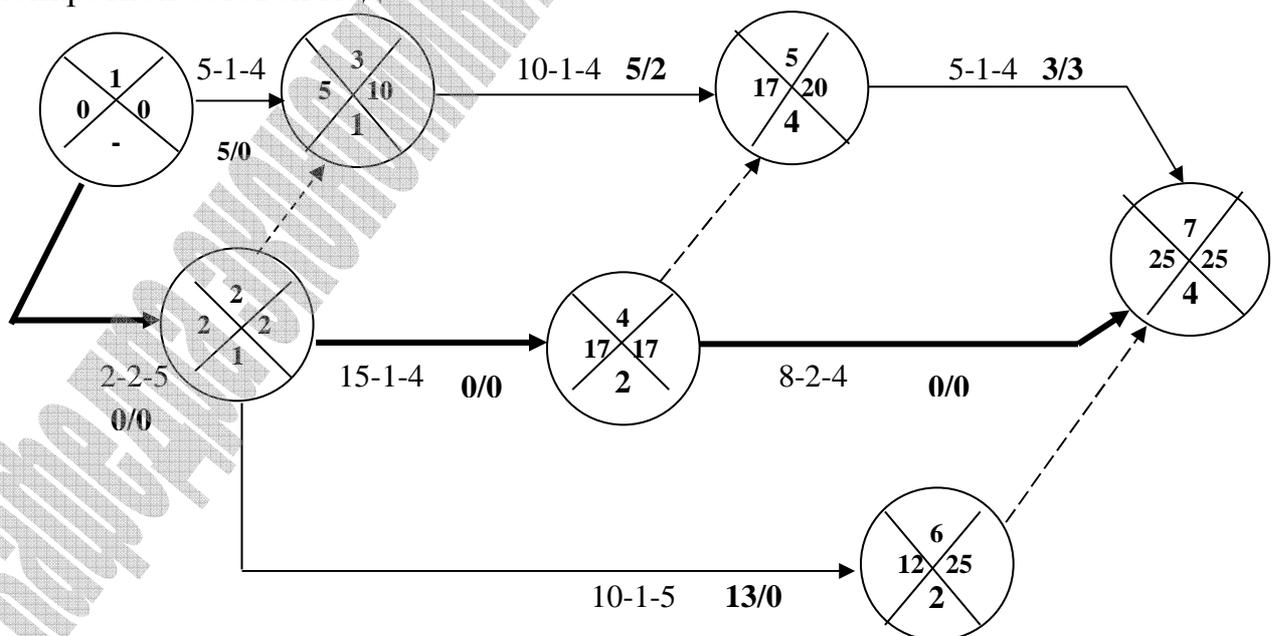


Рис. 10. Секторный метод расчета временных параметров сетевого графика

### Занятие 3. Табличный метод расчета временных параметров сетевых графиков.

Цель занятия: овладение навыками расчета временных параметров сетевых графиков табличным методом и ознакомление с возможностями этого метода при использовании ЭВМ.

При расчете сетевых графиков табличным методом предварительно составляется таблица (см. таблицу 7), в которую вначале заносятся коды всех работ в порядке возрастания номеров начальных событий работ и продолжительность выполнения работ:

Расчет всех временных параметров производится по приведенным выше формулам в следующем порядке:

1. Вначале следует проанализировать сетевую модель и определить для каждой работы комплекс предшествующих работ:

2. Для начальных работ их ранние начала принимаются равными нулю. Раннее окончание работ определяется по формуле:

$$t_{i-j}^{po} = t_{i-j}^{pn} + t_{i-j}.$$

Расчет производим сверху вниз таблицы.

3. Раннее начало других работ определяется, как  $t_{i-j}^{pn} = \max t_{h-i}^{po}$ .

Максимальное значение ранних окончаний завершающих работ определяет продолжительность строительства.

4. Для всех завершающих работ, не имеющих последующих работ, принимаем позднее окончание равным продолжительности строительства по графику. Позднее начало работ определяем по формуле  $t_{i-j}^{nn} = t_{i-j}^{no} - t_{i-j}$ .

Расчет проводим снизу вверх таблицы.

5. Позднее окончание предшествующих работ определяем как  $t_{i-j}^{no} = \min t_{j-k}^{nn}$ .

6. Общий резерв времени работ ( $R_{i-j}$ ) определяем, вычитая из позднего начала работы ее раннее начало или из позднего окончания раннее окончание:

$$R_{i-j} = t_{i-j}^{no} - t_{i-j}^{po} = t_{i-j}^{nn} - t_{i-j}^{pn}$$

7. Частный резерв времени работ ( $r_{i-j}$ ) определяем по формуле  $r_{i-j} = t_{j-k}^{pn} - t_{i-j}^{po}$ .

Сопоставляем определенные значения резервов времени работ. Значения частного резерва времени не могут превышать значения общего резерва времени ( $R_{i-j} \geq r_{i-j}$ ), следовательно если  $R_{i-j} = 0$ , то и  $r_{i-j} = 0$ . Общий и частный резервы времени для завершающих работ совпадают.

8. Определяем критические работы, у которых отсутствуют резервы времени. Эти работы должны составить хотя бы один полный путь от исходного до завершающего события.

**Задания для расчета сетевых графиков секторным и табличным методами** приведены в таблице 6 предыдущей темы: «Основные элементы и правила построения сетевых моделей»

Для примера произведем расчет временных параметров предлагаемой выше сетевой модели табличным методом. Расчет одной и той же модели двумя методами позволяет проанализировать и сопоставить данные расчета временных параметров и при наличии ошибок в расчетах своевременно их выявить и устранить.

Таблица 7

Код работ i-j	Продолжительность работ $t_{i-j, \text{дн}}$	Ранние		Поздние		Резервы времени		Отметка критических работ
		начала работ $t_{i-j}^{pn}$	окончания работ $t_{i-j}^{po}$	начала работ $t_{i-j}^{mn}$	окончания работ $t_{i-j}^{no}$	общий $R_{i-j}$	Частный $r_{i-j}$	
1-2	2	0	2	0	2	0	0	+
1-3	5	0	5	5	10	5	0	
2-3	0	2	2	10	10	8	3	
2-4	15	2	17	2	17	0	0	+
2-6	10	2	12	15	25	13	0	
3-5	10	5	15	10	20	5	2	
4-5	0	17	17	20	20	3	0	
4-7	8	17	25	17	25	0	0	+
5-7	5	17	22	20	25	3	3	
6-7	0	12	12	25	25	13	13	

#### **Занятие 4. Оптимизация сетевых графиков по заданным ограничениям по времени.**

Цель занятия: *изучение методики оптимизации сетевых графиков по заданным временным ограничениям.*

##### **1. Теоретические основы оптимизации сетевых графиков по заданным временным ограничениям**

**Оптимизацией сети** называют организационно-технологические мероприятия по улучшению тех или иных параметров сетевого графика. Необходимость оптимизации возникает тогда, когда после расчета временных параметров сетевого графика обнаруживается, что общая продолжительность выполнения работ по графику превышает установленную или для выполнения некоторых работ недостаточно конкретных ресурсов.

**Оптимизация сетевого графика по времени** имеет цель сократить общую продолжительность работ по графику (длину критического пути) до величины, обеспечивающей ввод объекта в заданные сроки.

Целесообразно оптимизацию сетевого графика по времени производить на стадии расчета временных параметров, а именно: при расчете значений

ранних начал работ, т.е. когда уже известна продолжительность критического пути ( $t_{кр}$ ).

Это достигается следующими путями:

- перераспределением трудовых ресурсов, т.е. переводом бригад и звеньев с работ, имеющих резервы времени, на критические работы;
- пересмотром топологии сети, т.е. увеличением количества захваток, введением параллельных работ и т.п.;
- применением более прогрессивных методов выполнения некоторых видов работ, обеспечивающих сокращение сроков их выполнения;
- привлечением дополнительных ресурсов для выполнения критических работ.

На занятиях студенты производят оптимизацию ранее рассчитанного сетевого графика по заданным преподавателем ограничениям по времени.

### 1. Пример выполнения задания

Рассчитанный выше график необходимо оптимизировать так, чтобы общая продолжительность строительства не превышала 22 дня.

#### Порядок оптимизации:

1. Вначале определяем величину  $\delta$ , на которую нужно сократить продолжительность строительства, чтобы решить поставленную задачу, а именно:

$$\delta = T_{пл} - T_{зад} = 25 - 22 = 3 \text{ дня}$$

2. Затем выявляем на графике все работы, у которых общий резерв времени меньше или равен  $\delta$ . К таким работам относятся все критические работы: 1-2, 2-4, 4-7. (резервы равны нулю), а также работа 5-7 (общий и частный резервы времени равны 3).
3. Из приведенных выше работ составим все возможные полные пути:

**1-2-4-7- критический путь;**

**1-2-4-5-7 – подкритический путь** (состоит из критических и подкритических работ.). **Подкритическими** являются все работы, у которых общий резерв времени меньше или равен  $\delta$ .

4. Находим работы общие для всех этих путей:  
это работы 1-2; 2-4.

Изменив продолжительность одной из этих работ на величину  $\delta$ , мы достигнем желаемого результата.

5. Уменьшим продолжительность работы 2-4 на величину  $\delta$ .

$$t_{2-4}^1 = t_{2-4} - \delta = 15 - 3 = 12 \text{ дней}$$

6. Определим новое количество исполнителей для выполнения работы 2-4 ( $N'_{2-4}$ )

$$N'_{2-4} = \frac{15 \cdot 1 \cdot 4}{12 \cdot 1} = 5 \text{ (чел)}$$

Для выполнения данной работы необходимо дополнительно привлечь  $5 - 4 = 1$  (чел). Необходимые ресурсы могут быть сняты с однородных работ, имеющих частные резервы времени или привлечены дополнительно.

7. Пересчитаем временные параметры сетевого графика, приняв продолжительность работы 2-4, равной 12 дней и убедимся, что цель достигнута.

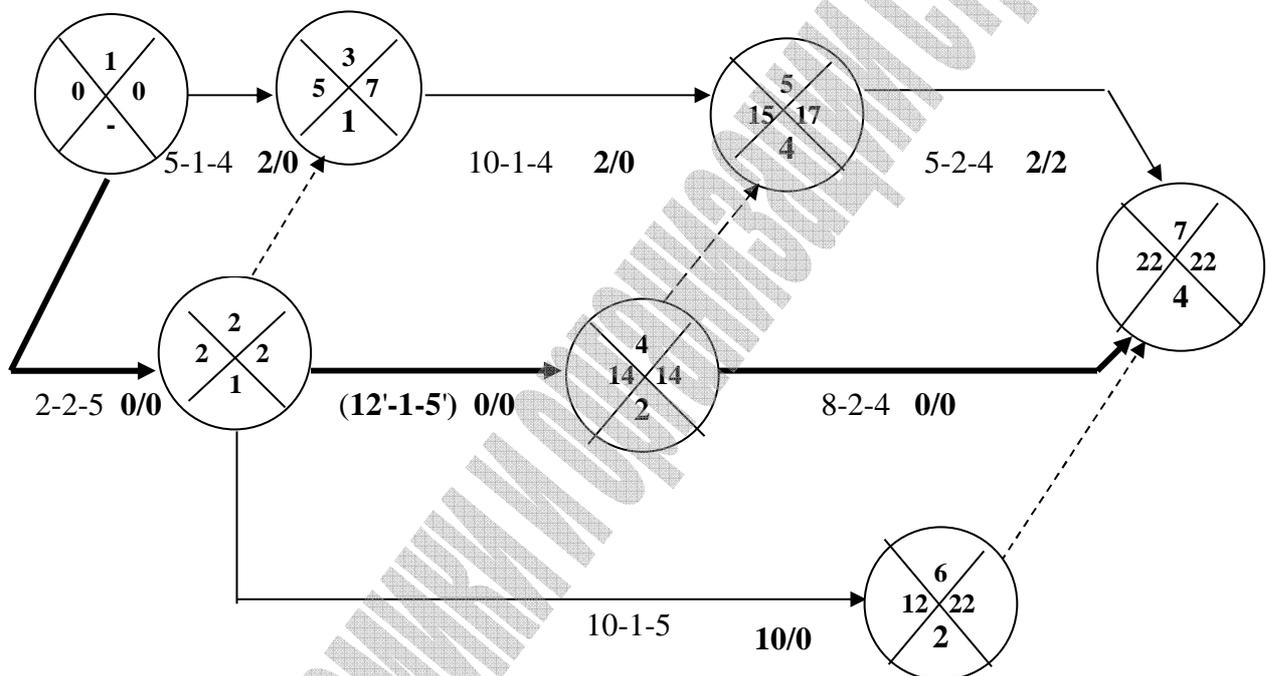


Рис. 11. Расчет временных параметров сетевого графика после оптимизации по времени

**Занятие 5. Построение сетевых графиков в масштабе времени. Оптимизация календарных планов по заданным ограничениям по трудовым ресурсам.**

Цель занятия: приобретение навыков построения сетевых графиков в масштабе времени, составления графиков движения рабочих и их корректировки по заданным ограничениям.

### 1. Построение сетевых графиков в масштабе времени

После того, как рассчитаны временные параметры сетевого графика, возникает необходимость построить его в более наглядной и удобной для использования на любом уровне управления форме, т.е. в масштабе времени.

Перевод безмасштабного графика в масштабный может быть выполнен двумя способами:

- 1 – с сохранением сетевой модели;
- 2 – переводом сетевого графика в линейный.

В первом случае график перечерчивают, располагая центры событий в строгом соответствии со значениями их ранних начал. Второй метод используется реже, так как он менее нагляден.

Для построения сетевого графика в масштабе времени необходимо:

- *определить календарное время начала работ, целесообразно начинать строительство объекта в весенне-летние месяцы, так как первоначально выполняются земляные и бетонные работы, выполнение которых зимой приводит к удорожанию строительства;*
- *вычерчивается календарная линейка, количество порядковых дней в которой соответствует продолжительности строительства по сетевому графику ( $t_{кр}$ ), календарные дни (даты) на ней указываются без учета выходных и праздничных дней.*

Например:

Строительство объекта начинается с 17 июня 2006 года. Календарная линейка будет иметь вид:

Порядковые дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	...	
Календарные дни	17	18	19	20	21	24	25	26	27	28	1	2	4	5	8	9	10	11	..	
Месяцы	Июнь										Июль									
Годы	2006																			

- *сохраняя топологию, вычерчивается сетевая модель так, чтобы центр каждого события располагался согласно времени раннего начала работы (см. рис. 12 ) ;*
- *на графике, построенном в масштабе времени, длина проекции любой стрелки  $\Pi$  (работы или зависимости) равна сумме продолжительности работы ( $t_{i-j}$ ) и ее частного резерва времени ( $r_{i-j}$ ), т.е.  $\Pi = t_{ij} + r_{ij}$  . Поэтому для работ, имеющих частные резервы времени, необходимо на стрелке выделить непосредственно продолжительность работы  $t_{ij}$  ( см. рис.12, работа 5-7 ).*

Пример построения сетевого графика в масштабе времени представлен на рис. 12.

На занятиях студентам предлагается построить в масштабе времени ранее разработанный сетевой график.

## 2. Построение графиков движения рабочих

После построения сетевого графика в масштабе времени составляют графики расхода различных видов ресурсов. Из-за большой номенклатуры ресурсов наиболее наглядны графики использования трудовых ресурсов – графики движения рабочих.

Для построения такого графика необходимо рассчитать общее количество рабочих, занятых на всех выполняемых в этот день работах на протяжении всего рассматриваемого срока строительства. Для этого определяем интервалы времени, где сохраняется постоянный состав исполнителей на выполняемых согласно графику работах, и находим суммарное количество рабочих на всех этих работах. При суммировании количества рабочих учитываем сменность работ:

$$N_{\text{общ}} = \sum N_i \cdot k,$$

где-  $N_i$  – количество рабочих, занятое в одну смену на  $i$ -ой работе,  
 $k$  – число смен в сутки на  $i$ -ой работе.

Пример построения графика движения рабочих представлен на рис 12.

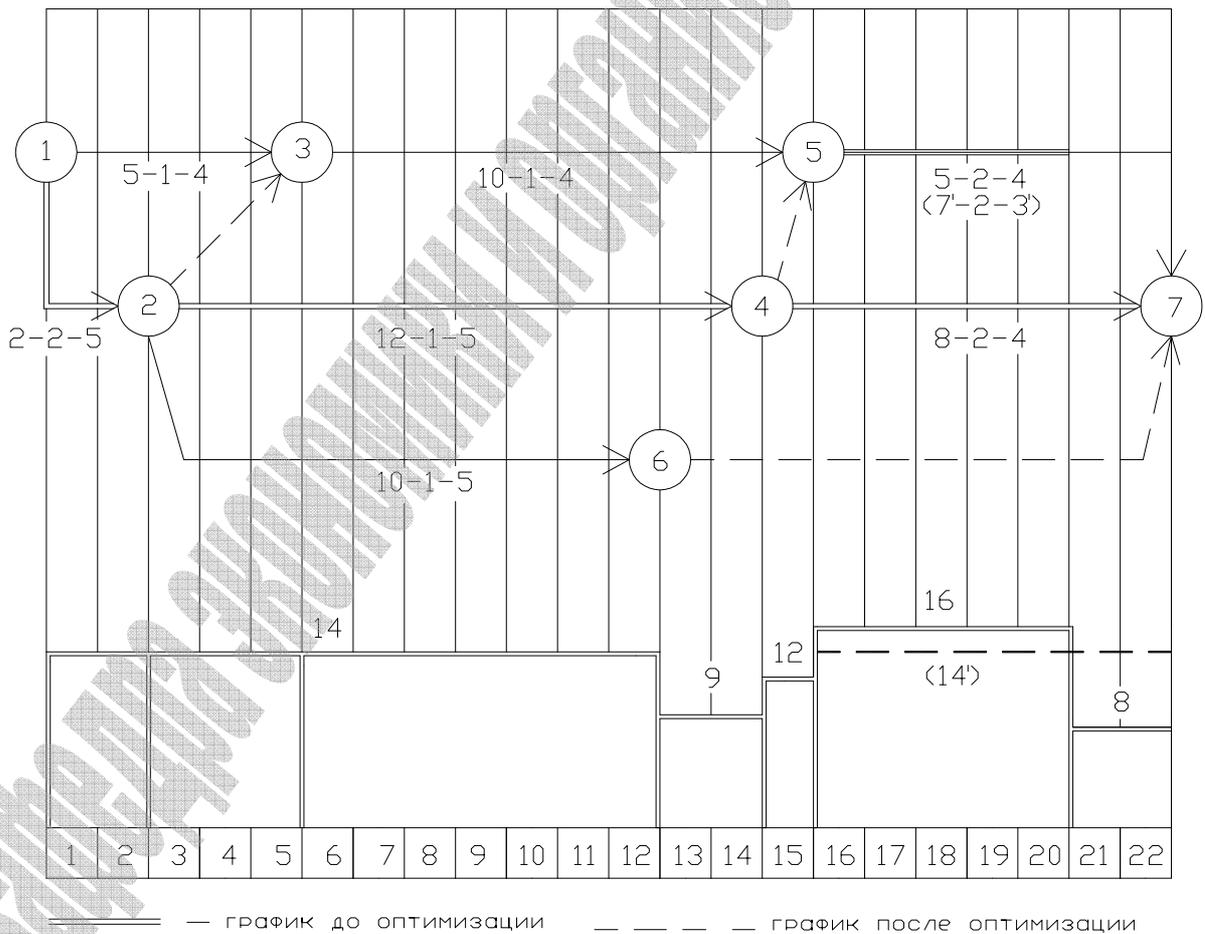


Рис. 12. Построение сетевого графика в масштабе времени и графика движения рабочих.

## 2. Оптимизация календарных планов по трудовым ресурсам

Оптимизация календарных планов по ресурсам чрезвычайно сложный процесс из-за большой номенклатуры как работ так и ресурсов для их выполнения.

Чаще всего осуществляют оптимизацию по трудовым ресурсам. При этом решают следующие задачи:

- исходя из требований поточных методов организации строительства, необходимо сохранять постоянный состав бригад исполнителей,
- равномерно распределять трудовые ресурсы по всем периодам строительства,
- минимизировать потребное количество рабочих в пределах имеющихся резервов времени так, чтобы коэффициент неравномерности движения рабочих по объекту не превышал 1,5.

По графику движения рабочих определяем максимальное потребное количество рабочих - 16 человек (см. рис.12).

Проанализируем построенный график и определим по нему коэффициент неравномерности движения рабочих как отношение максимального потребного количества рабочих по графику ( $N_{\text{макс}}$ ) к его среднему значению ( $N_{\text{ср}}$ )

$$K_n = N_{\text{макс}} / N_{\text{ср}} \leq 1,5.$$

Среднее количество рабочих может быть определено как отношение общей трудоемкости выполнения всех работ ( $Q_{\text{общ}}$ ) к общей продолжительности выполнения работ по графику ( $t_{\text{кр}}$ )

$$N_{\text{ср}} = Q_{\text{общ}} / t_{\text{кр}} .$$

При отсутствии данных общая трудоемкость работ может быть определена как площадь графика движения рабочих по объекту:

$$Q_{\text{общ}} = 14 \cdot 12 + 9 \cdot 2 + 12 \cdot 1 + 16 \cdot 5 + 8 \cdot 2 = 168 + 18 + 12 + 98 = 294 \text{ чел-дн.}$$

$$t_{\text{кр}} = 22 \text{ дня;}$$

$$N_{\text{ср}} = 294 / 22 = 13 \text{ (чел).}$$

$$K_n = 16 / 13 = 1,23 < 1,5.$$

Определим, сможет ли бригада численностью 14 человек выполнить весь комплекс рассматриваемых работ в течение всего периода строительства.

Определим интервал времени, где количество рабочих по графику превышает заданную численность бригады:

- это интервал [16,20 дн.] – 16 чел.

В этом интервале выполняются следующие работы:

4-7  $R=0, r=0$  – критическая работа;

**5-7**  $R=2, r=2$ ;

6-7 – зависимость.

Оптимизация сетевого графика может производиться тремя способами:

- сдвижкой начала работы вправо на более поздние сроки,
- увеличением продолжительности выполнения работы на величину ее частного резерва времени,
- одновременным использованием двух первых методов.

Оптимизацию будем производить за счет частного резерва времени работы 5-7.

Увеличим продолжительность работы 5-7 на величину ее частного резерва времени:  $t_{5-7}^I = t_{5-7} + r_{5-7} = 5+2=7$  (дней.)

Новая потребная численность исполнителей для выполнения работы 5-7 будет равна:

$$N_{5-7}^I = \frac{5}{7} \cdot \frac{2}{2} \cdot 4 = 3 \text{ (чел)}$$

Проверим общую численность рабочих в интервале 16-22 день. Общее количество рабочих после оптимизации сетевого графика не будет превышать 14 человек (см. рис. 12).

После оптимизации определим:  $K'_н = \frac{14}{13} = 1,08 < 1,5$

**Задания по теме: «Построение сетевых графиков в масштабе времени. Оптимизация календарных планов по заданным ограничениям по трудовым ресурсам»** выдаются преподавателем в соответствии с ранее рассчитанными конкретными сетевыми графиками.

## Литература

1. СНиП 01.01-85. Организация строительного производства./Госстрой СССР.- М.:, 1985.
2. СНиП 1.04.03-85. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений./Госстрой СССР, Госплан СССР.- М.:, Стройиздат,1985.
3. Методические указания по определению продолжительности капремонта и реконструкции зданий.- Брест, 2004.
4. Дикман Л.Г. Организация и планирование строительного производства.- М.:, Высшая школа, 1988.
5. Дикман Л.Г. Организация жилищно-гражданского строительства. – М.:, Стройиздат, 1985 ( справочник строителя).
6. Шахпоронов В.В. и др. Организация строительного производства./Под ред. Шахпоронова В.В. – М.:, Стройиздат, 1987.
7. Методические указание по расчету и проектированию временного строительного хозяйства при разработке строительных генеральных планов в составе курсовых и дипломных проектов для студентов строительных специальностей всех форм обучения. – Брест, 2002.
8. Методические рекомендации по определению сметной стоимости строительства.– Брест, 2003 .