

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
КАФЕДРА ЭКОНОМИКИ И ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

**РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ**  
**для выполнения практических работ**  
**по дисциплине «Организация и управление в строительстве»**  
для студентов строительных специальностей  
I и II ступеней высшего образования  
дневной и заочной форм обучения  
и слушателей ИПК и П.

**ЧАСТЬ 1.**

***Основы поточной организации строительства.***  
***Основы сетевого моделирования в строительстве***

УДК 69.05 (076.5)

Рабочая тетрадь составлена в соответствии с учебной программой курса «Организация и управление в строительстве». Предназначена для использования при проведении практических занятий, а также самостоятельной работы студентов строительных специальностей I и II ступеней высшего образования и слушателей ИПК и П.

В первой части на конкретных примерах изложены основные теоретические положения данного курса (поточная организация строительства, сетевое моделирование), имеющие широкое применение в мировой практике строительного производства. Материал сгруппирован по темам в соответствии с содержанием практических занятий.

Представление материала в форме рабочей тетради оптимизирует использование времени аудиторных занятий и самостоятельной подготовки студентов.

При составлении рабочей тетради использованы теоретические положения учебных и справочных изданий и методические разработки кафедры экономики и организации строительства.

Издается в 2-х частях. Часть 1.

Составители: Кисель Е.И., доцент, к.т.н.  
Срывкина Л.Г., доцент

Рецензент: Лебедев К.В., директор ЗАО «Брестоптимал»

# ТЕМА 1. ОСНОВЫ ПОТОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

## ЗАНЯТИЕ 1.1. РАСЧЕТ РАВНОРИТМИЧНОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОТОКА

**Цель занятия:** изучение теоретических основ поточного метода организации строительства, овладение практическими навыками расчета и проектирования равноритмичных специализированных потоков.

### 1.1.1. Теоретические основы поточного метода организации строительства

Строительство объекта или группы объектов может быть организовано разными методами: последовательным, параллельным, поточным.

**Последовательный метод** предусматривает возведение каждого последующего здания или сооружения после окончания предыдущего, то есть после выполнения на предыдущем здании, сооружении всех производственных процессов, входящих в комплексный процесс его возведения (рисунок 1.1.1).

**Параллельный метод** предусматривает одновременное строительство всех зданий (сооружений), т. е. параллельное выполнение однородных производственных процессов на разных объектах (рисунок 1.1.2).

**Поточный метод** предполагает последовательное выполнение однородных производственных процессов на разных объектах и параллельное выполнение разнородных процессов на каждом объекте (рисунок 1.1.3).

Обозначения к рисункам:

$N$  – количество объектов;

$T_i$  – общий срок строительства  $i$ -м методом;

$t$  – продолжительность строительства одного объекта;

$r$  – интенсивность потребления ресурсов при строительстве одного объекта;

$I_i$  – интенсивность потребления ресурсов при организации строительства  $i$ -м методом.

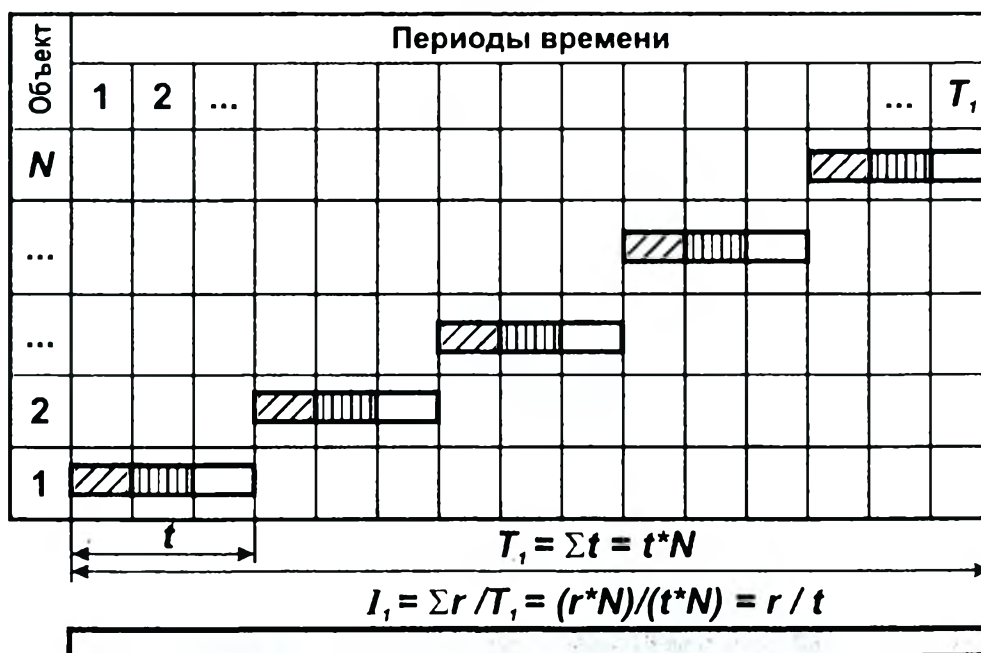


Рисунок 1.1.1 - Принципиальная схема последовательного метода организации строительства группы объектов

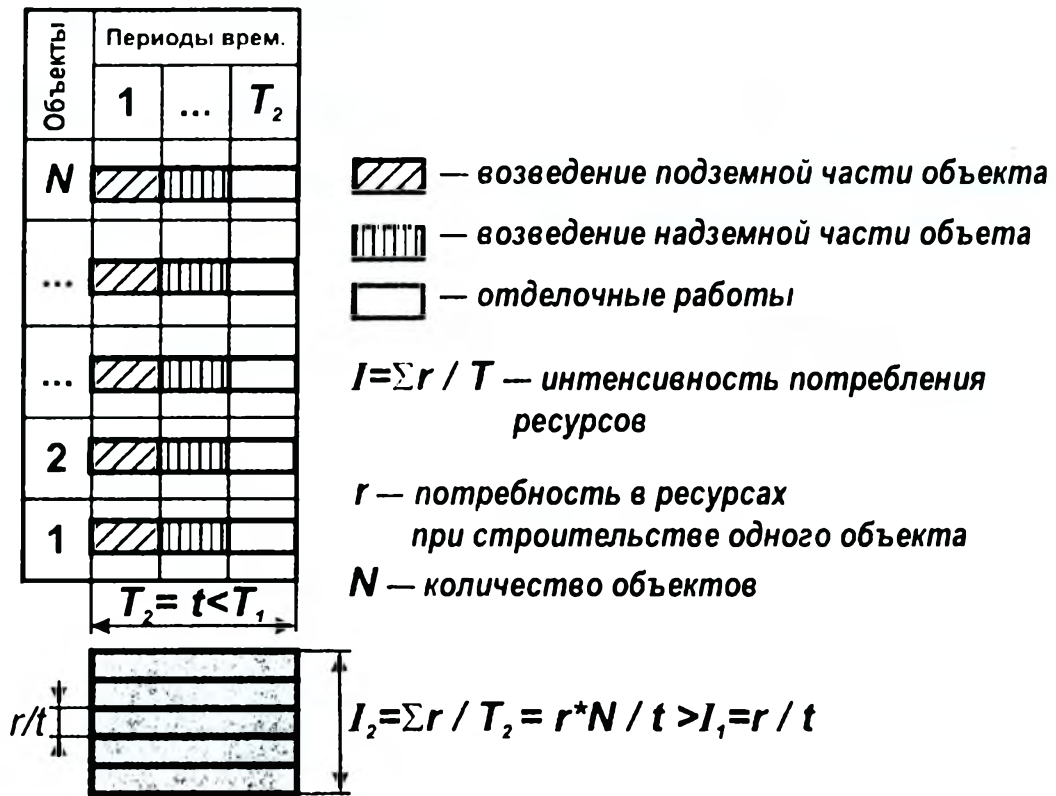


Рисунок 1.1.2 - Принципиальная схема параллельного метода организации строительства группы объектов

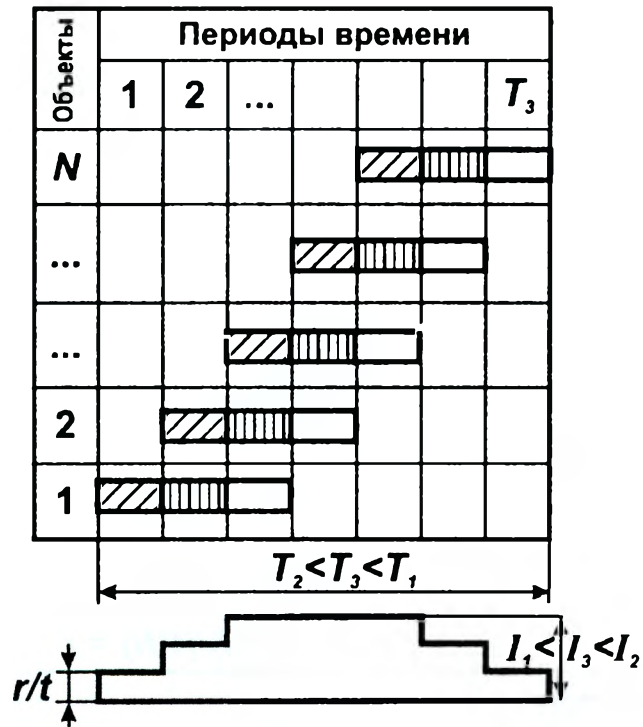


Рисунок 1.1.3 - Принципиальная схема поточного метода организации строительства группы объектов

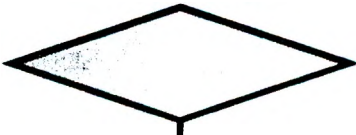
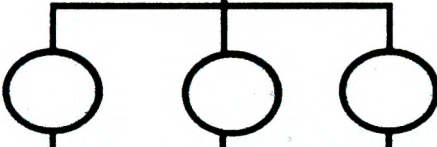
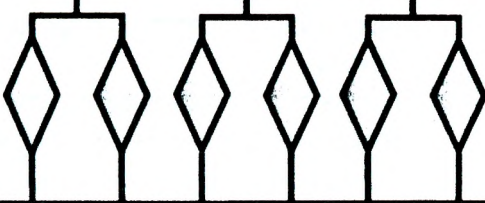
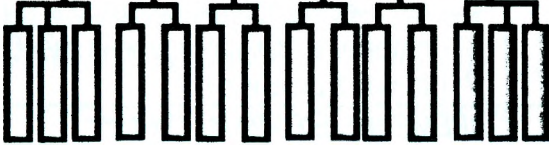
**Условия создания строительного потока:**

- 1) разделение сложного производственного процесса на составляющие простые процессы;
- 2) разделение труда между исполнителями, имеющими постоянный численный и квалификационный состав, и закрепление за ними соответствующих процессов;
- 3) разделение общего фронта работ на частные фронты (участки, захватки) и установление для них продолжительности выполнения каждого процесса;
- 4) назначение очередности работ на частных фронтах работ таким образом, чтобы максимально совместить выполнение разнотипных работ во времени, т. е. осуществление их технологической увязки.

**Преимущества поточного метода организации строительства:**

- растет производительность труда рабочих и качество выполнения работ, поскольку бригады постоянного численного и квалификационного состава выполняют одинаковые процессы в течение длительного времени, совершенствуют методы труда, приобретают навыки в работе;
- сокращается продолжительность строительства, поскольку поточный метод способствует повышению производительности труда рабочих и снижению непроизводительных потерь рабочего времени;
- улучшается использование основных производственных фондов и оборотных средств вследствие повышения ритмичности работы строительных организаций, равномерного и полного использования их сил и средств, сокращения объема незавершенного производства;
- ритмично выпускается строительная продукция, уменьшается объем капитальных вложений, сосредоточенных в незавершенном строительстве.

**Классификация** строительных потоков представлена на рисунках 1.1.4, 1.1.5.

<b>ВИД ПОТОКА</b>	<b>СТРУКТУРА ПОТОКА</b>	<b>ХАРАКТЕР ПРОДУКЦИИ</b>
<b>КОМПЛЕКСНЫЙ</b>		<b>Комплекс зданий и сооружений</b> (жилой массив, промышленное предприятие)
<b>ОБЪЕКТНЫЙ</b>		<b>Отдельные здания, сооружения или группы однородных объектов</b> (жилые кирпичные дома, промышленные здания)
<b>СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ</b>		<b>Законченные комплексы работ, конструктивные элементы и части зданий и сооружений</b> (подземная часть, надземная часть, отделочные работы)
<b>ЧАСТНЫЙ</b>		<b>Законченные виды работ и элементы конструкций</b> (земляные работы, устройство фундаментов, кладка стен, штукатурные работы)

**Рисунок 1.1.4 – Классификация строительных потоков по структуре потока и характеру продукции**



## СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПОТОКИ по характеру ритмичности

<b>РИТМИЧНЫЙ</b> - поток, в которых все составляющие потоки его потоки имеют постоянные ритмы (постоянную продолжительность выполнения работ на захватках) Ритмичными могут быть частные, специализированные и объектные потоки		<b>НЕРИТМИЧНЫЙ</b> - поток, в котором составляющие его потоки не имеют постоянных ритмов (продолжительности выполнения работ на отдельных захватках различны). Неритмичными могут быть все виды потоков
<b>Равноритмичный</b> - поток, в котором все составляющие его потоки имеют единый ритм (одинаковую продолжительность выполнения всех работ на захватках), который также равен шагу потока	<b>Кратноритмичный</b> - поток, в котором все составляющие его потоки имеют ритмы, кратные между собой	<b>Разноритмичный</b> - поток, в котором все составляющие его потоки имеют постоянные индивидуальные ритмы, которые не равны и не кратны друг другу

**Рисунок 1.1.5 – Классификация строительных потоков по характеру ритмичности**

**Методы расчета параметров строительных потоков:** аналитический (по формулам), графический, матричный, табличный. Расчетные параметры – в таблице 1.1.1.

**Таблица 1.1.1 – Параметры строительных потоков**

Наименование	Обозначение	Характеристика
1	2	3
<b>ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ</b>		
<b>Захватка</b>	<b><i>m</i></b>	Часть объекта, в пределах которой развиваются и увязываются между собой частные потоки, входящие в состав специализированного потока
<b>Участок</b>		Часть объекта, в пределах которой развиваются и увязываются специализированные потоки, которые входят в состав объектного потока
<b>Делянка</b>		Фронт работы одного звена
<b>Ярус</b>		Участок деления объекта по вертикали в зависимости от конструктивного решения и технологии строительства
<b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ</b>		
<b>Число потоков (процессов)</b>	<b><i>n</i></b>	Количество простых процессов в составе сложного процесса (число частных потоков в составе специализированного потока)
<b>Объем работ</b>	<b><i>V</i></b>	Количество выполняемой работы в физических единицах измерения (м <sup>3</sup> каменной кладки, м <sup>2</sup> штукатурных работ и т. д.)
<b>Трудоемкость</b>	<b><i>Q</i></b>	Затраты труда на выполнение работы в человеко-днях
<b>Интенсивность</b>	<b><i>I</i></b>	Количество продукции, которое выпускается строительным потоком в единицу времени (м <sup>2</sup> общей площади жилых домов в день и т. п.)
<b>ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ</b>		
<b>Ритм потока</b>	<b><i>t</i></b>	Продолжительность выполнения процесса бригадой или звеном на одной захватке
<b>Шаг потока</b>	<b><i>k</i></b>	Интервал времени между смежными потоками, т.е. промежуток времени, через который бригада или звено вступает в поток

Продолжение таблицы 1.1.1

1	2	3
<b>Период развертывания потока</b>	$\tau$	Время включения в сложный поток всех составляющих его простых потоков (например, время включения частных потоков в специализированный поток)
<b>Период выпуска готовой продукции</b>	$T_{пр}$	Время, в течение которого из потока выпускается готовая продукция
<b>Общая продолжительность потока</b>	$T_o$ $T_o = \tau + T_{пр}$	Определяется суммой периода развертывания потока и периода выпуска готовой продукции
<b>Технологические перерывы</b>	$t_{пер}$	Перерывы между смежными потоками, вызванные особенностями применяемых материалов или требованиями технологии производства работ (твердение бетона, сушка штукатурки)
<b>Организационные перерывы</b>		Перерывы, между смежными потоками, вызванные организационными причинами или требованиями охраны труда

**Расчетные формулы для равномерного потока:**

- шаг потока равен ритму потока:  $k=t$ ;
- период развертывания потока:  $\tau = k(n - 1) + t_{пер} = t(n - 1) + t_{пер}$  ;
- период выпуска готовой продукции:  $T_{пр} = t \cdot m$  ;
- общая продолжительность потока:  $T_o = \tau + T_{пр} = t(n - 1) + t_{пер} + t \cdot m = t(n + m - 1) + t_{пер}$  .

**1.1.2. Пример расчета и проектирования равномерного специализированного потока**

Требуется рассчитать аналитическим методом параметры специализированного потока по устройству монолитных конструкций и составить график производства работ (линейный и циклограмму).

**Исходные данные**

1. Состав работ:
  - установка опалубки;
  - армирование;
  - бетонирование;
  - разборка опалубки.
2. Объемы работ на захватках одинаковые.
3. Перед разборкой опалубки – технологический перерыв  $t_{пер}=3$  дн.
4. Число захваток  $m=5$ .
5. Ритмы работ бригад  $t=2$  дн.

**Решение**

Специализированный поток является равномерным. В равномерных потоках шаг потока равен ритму потока:  $k=t=2$  дн.

В специализированный поток входят четыре процесса:  $n=4$ .

Период развертывания потока:  $\tau = k(n - 1) + t_{пер} = t(n - 1) + t_{пер} = 2 \cdot (4 - 1) + 3 = 9$  дн.

Период выпуска готовой продукции:  $T_{пр} = t \cdot m = 2 \cdot 5 = 10$  дн.

Общая продолжительность потока:  $T_o = \tau + T_{пр} = 9 + 10 = 19$  дн.

Линейный график и циклограмма равномерного специализированного потока представлены на рисунках 1.1.6, 1.1.7.

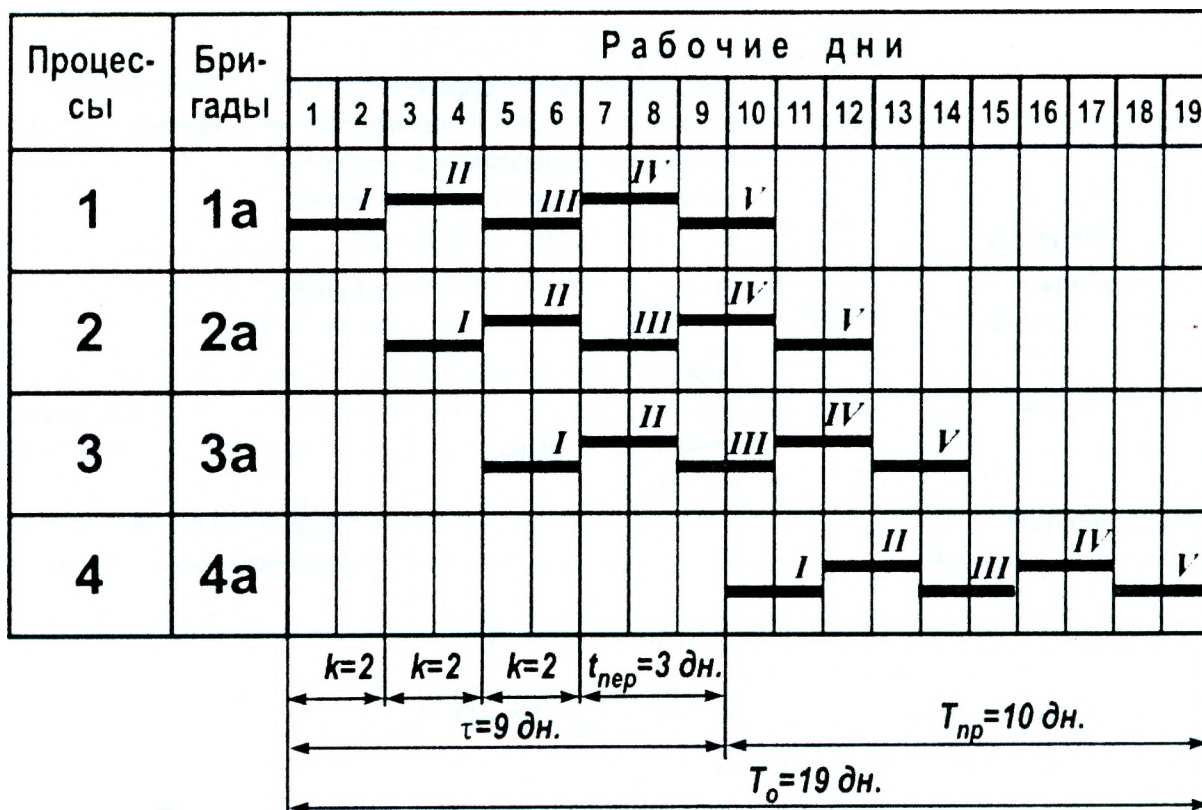


Рисунок 1.1.6 – Линейный график равноритмичного специализированного потока

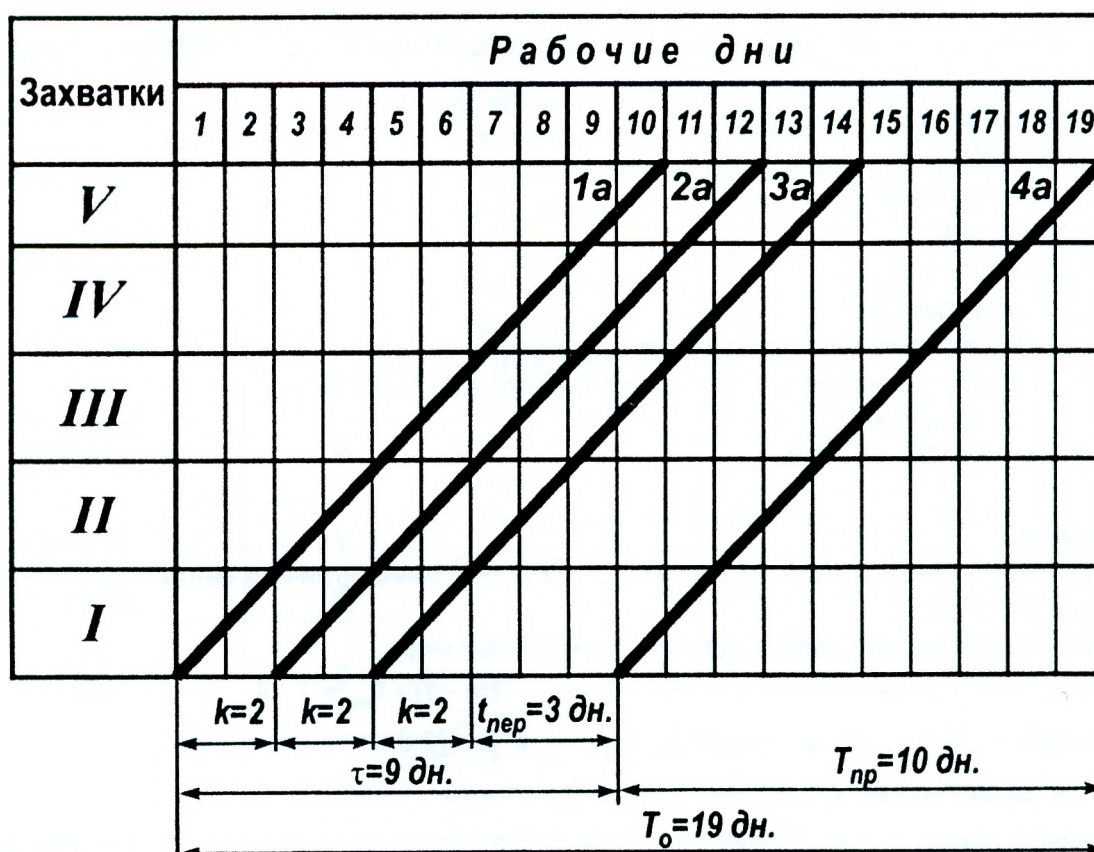


Рисунок 1.1.7 – Циклограмма равноритмичного специализированного потока



**Задания для индивидуальной работы на практических занятиях по теме  
«Расчет равномерного специализированного потока»**

1. Состав работ специализированного потока по устройству монолитных конструкций:
  - установка опалубки;
  - армирование;
  - бетонирование;
  - разборка опалубки.

2. Объемы работ на захватках одинаковые.

3. Между бетонированием и разборкой опалубки предусмотреть технологический перерыв **3 дня**.

4. Варианты заданий (число захваток и ритм работы бригад) указаны в таблице 1.1.2.

Выполните расчет равномерного специализированного потока аналитическим методом (по формулам).

Постройте линейный график и циклограмму с указанием временных параметров специализированного потока ( $\tau$ ,  $T_{пр}$ ,  $T_o$ ,  $t_{пер}$ ).

**Таблица 1.1.2 – Варианты заданий по теме «Расчет равномерного специализированного потока»**

Показатели	Варианты																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Число захваток ( $m$ )	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	5	4	4	2	3	3	5

Продолжение таблицы 1.1.2

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



## ЗАНЯТИЕ 1.2. РАСЧЕТ КРАТНОРИТМИЧНОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОТОКА

**Цель занятия:** изучение теоретических основ и овладение практическими навыками расчета и проектирования кратноритмичных специализированных потоков.

### 1.2.1. Теоретические основы расчета и проектирования кратноритмичных потоков

**Кратноритмичный поток** – поток, в котором все составляющие потоки имеют ритмы, кратные между собой.

В случае кратноритмичного специализированного потока возможно уравнивание по ускоренному или по замедленному ритму.

При **уравнивании по ускоренному ритму** шаг потока принимается равным наименьшему из ритмов работы бригад. Для выполнения процессов, имеющих ритмы, отличающиеся от минимального, назначается несколько параллельно работающих бригад.

**Уравнивание по замедленному ритму** достигается следующими способами:

- 1) путем введения разной сменности для разных работ;
- 2) путем вывода бригад на резервные объекты;
- 3) путем введения системы разных захваток для разных процессов.

### 1.2.2. Пример расчета и проектирования равноритмичного специализированного потока

Требуется выполнить расчет и проектирование кратноритмичного специализированного потока по устройству монолитных конструкций с уравниванием по ускоренному и по замедленному ритму.

#### **Исходные данные**

1. Состав работ специализированного потока по устройству монолитных конструкций и ритмы работы бригад:

- установка опалубки ( $t_1=1$  дн.);
- армирование ( $t_2=1$  дн.);
- бетонирование ( $t_3=3$  дн.);
- разборка опалубки ( $t_4=1$  дн.).

2. Число захваток  $m=5$ .

3. Объемы работ на захватках одинаковые.

4. Технологический перерыв между бетонированием и разборкой опалубки - 3 дня.

#### **Решение**

Уравнивание потока по ускоренному ритму

Шаг потока принимается равным наименьшему из ритмов:  $k=t_{\min}=1$  дн.

Определяется количество исполнителей (бригад) для каждого процесса  $n_i = t_i / t_{\min}$ :

- $n_1=t_1/t_{\min}=1/1=1$  бр.;
- $n_2=t_2/t_{\min}=1/1=1$  бр.;
- $n_3=t_3/t_{\min}=3/1=3$  бр.;
- $n_4=t_4/t_{\min}=1/1=1$  бр.

Общее количество бригад:  $n' = \sum n_i = 1 + 1 + 3 + 1 = 6$  бр.

Период развертывания потока:  $\tau = k(n' - 1) + t_{\text{пер}} = t_{\min}(n' - 1) + t_{\text{пер}} = 1 \cdot (6 - 1) + 3 = 8$  дн.

Период выпуска готовой продукции:  $T_{\text{пр}} = t_{\min} \cdot m = 1 \cdot 5 = 5$  дн.

Общая продолжительность потока:  $T_o = \tau + T_{\text{пр}} = 8 + 5 = 13$  дн.

Линейный график и циклограмма кратноритмичного специализированного потока, уравниваемого по ускоренному ритму, представлены на рисунках 1.2.1 и 1.2.2.

Уравнивание потока по замедленному ритму

Уравнивание кратноритмичного специализированного потока по замедленному ритму выполнено графическим методом (рисунки 1.2.3, 1.2.4).

После выполнения 1-го, 2-го и 4-го процессов бригады после завершения установленного объема работ на данных захватках высвобождаются на 2 дня для работы на других объектах.

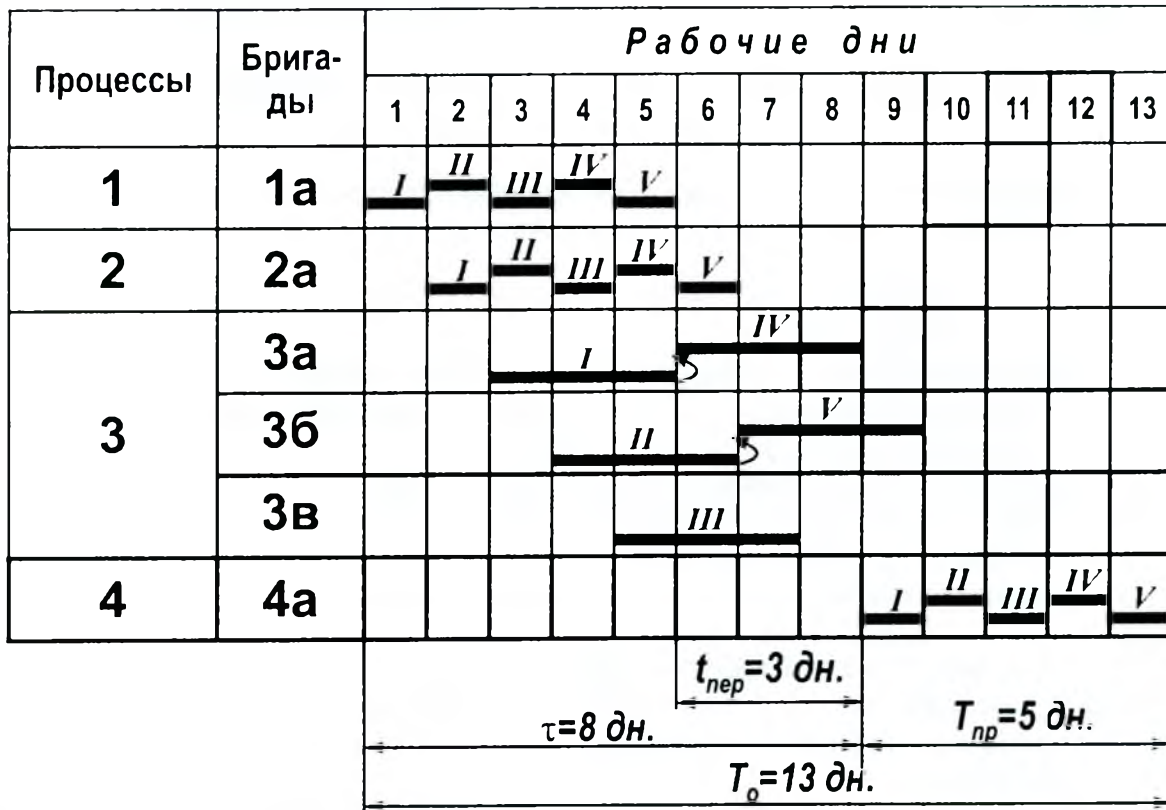


Рисунок 1.2.1 – Линейный график кратноритмичного специализированного потока при уравнивании его по ускоренному ритму

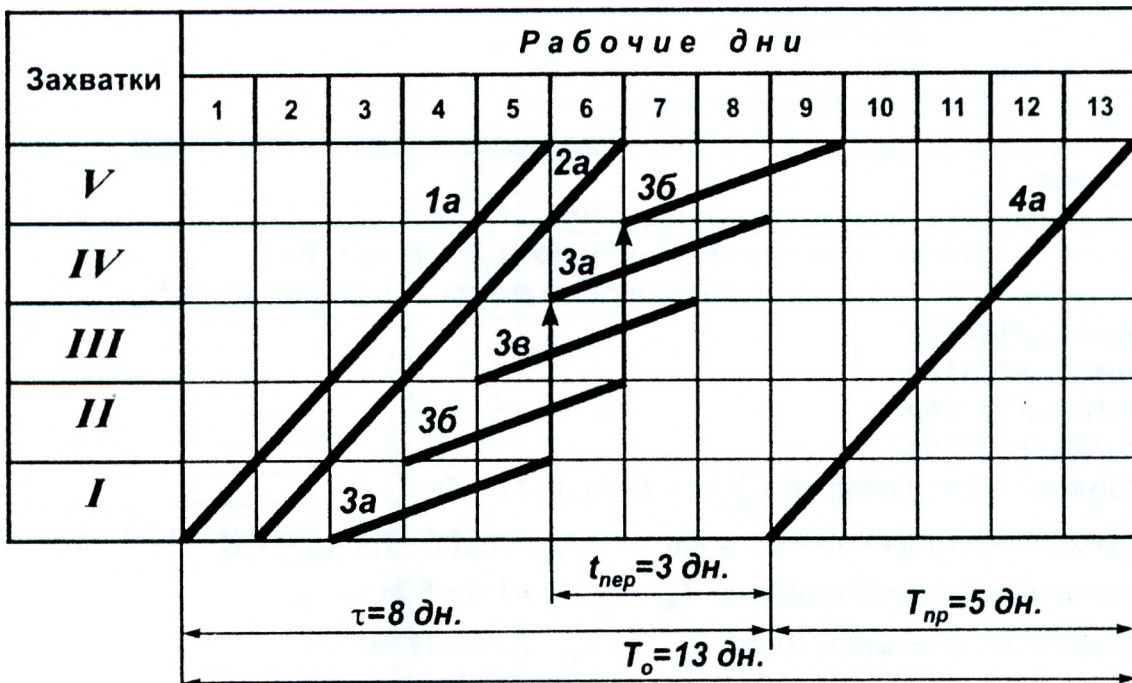


Рисунок 1.2.2 – Циклограмма кратноритмичного специализированного потока при уравнивании его по ускоренному ритму



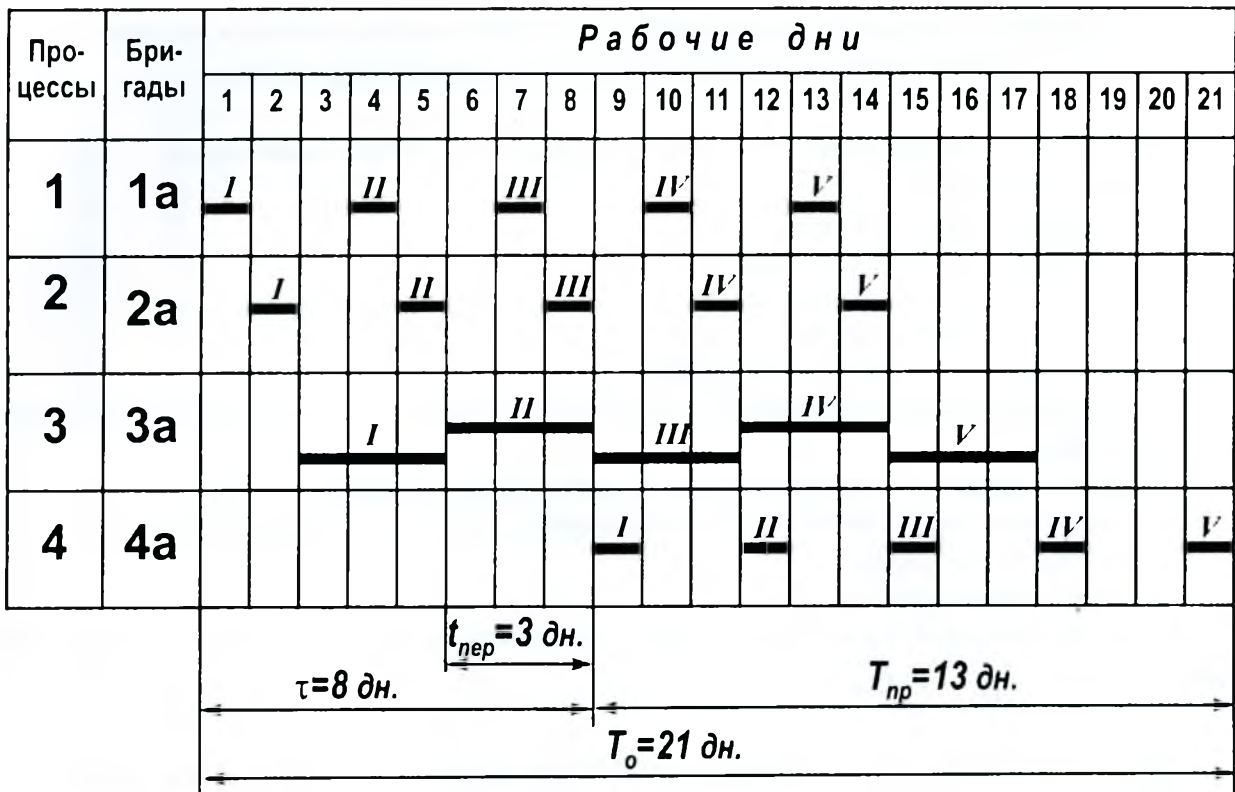


Рисунок 1.2.3 – Линейный график кратноритмичного специализированного потока при уравнивании его по замедленному ритму

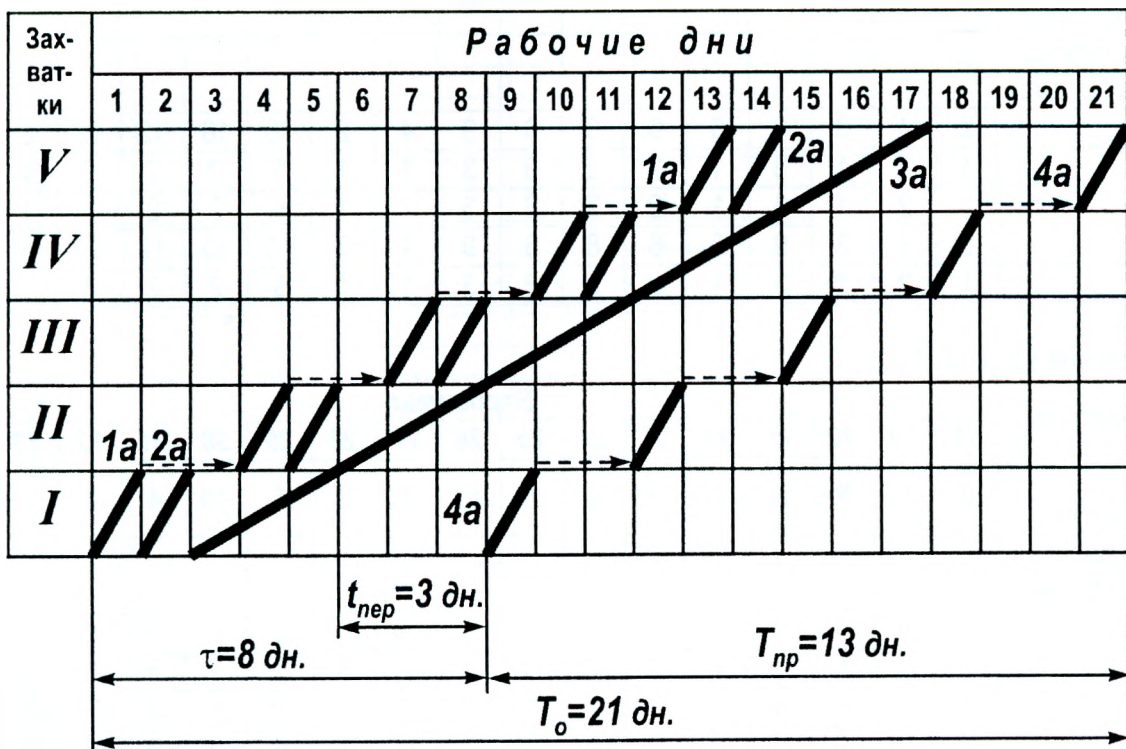


Рисунок 1.2.4 – Циклограмма кратноритмичного специализированного потока при уравнивании его по замедленному ритму

**Задания для индивидуальной работы на практических занятиях по теме  
«Расчет кратноритмичного специализированного потока»**

1. Состав работ специализированного потока по устройству автомобильной дороги:
    - земляные работы;
    - установка бордюрного камня;
    - устройство песчаного основания;
    - устройство бетонной подготовки;
    - асфальтирование покрытия
  2. Объемы работ на захватках одинаковые.
  3. Технологический перерыв между бетонной подготовкой и асфальтированием покрытия принять равным **3 дням**.
  4. Варианты заданий (число захваток и ритмы работы бригад) указаны в таблице 1.2. Выполните расчет кратноритмичного специализированного потока с уравниванием:
    - по ускоренному ритму;
    - по замедленному ритму.
- Постройте линейные графики и циклограммы с указанием временных параметров специализированного потока ( $\tau$ ,  $T_{пр}$ ,  $T_o$ ,  $t_{пер}$ ).

**Таблица 1.2.1 – Варианты заданий по теме «Расчет кратноритмичного специализированного потока»**

Показатели	Варианты																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Число захваток ( $m$ )	4	5	6	7	8	9	4	6	6	8	14	3	5	6	4	6	5
Ритмы работы бригад ( $t_i$ ), дн.:																	
$t_1$	2	4	3	9	5	6	8	6	9	4	2	10	10	12	12	6	15
$t_2$	1	2	1	3	1	2	2	3	3	1	1	5	2	2	3	1	3
$t_3$	1	2	1	3	1	2	2	3	3	1	1	5	2	2	3	1	3
$t_4$	2	4	3	9	5	6	8	6	9	4	2	10	10	12	12	6	15
$t_5$	1	2	1	3	1	2	2	3	3	1	1	5	2	2	3	1	3

Продолжение таблицы 1.2.1

Показатели	Варианты																
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Число захваток ( $m$ )	6	5	8	5	7	6	8	6	13	7	3	6	10	4	4	7	7
Ритмы работы бригад ( $t_i$ ), дн.:																	
$t_1$	5	9	7	12	6	2	8	12	3	14	10	8	4	9	6	6	4
$t_2$	1	3	1	3	1	1	2	3	1	2	5	2	1	3	3	2	2
$t_3$	1	3	1	3	1	1	2	3	1	2	5	2	1	3	3	2	2
$t_4$	5	9	7	12	6	2	8	12	3	14	10	8	4	9	6	6	4
$t_5$	1	3	1	3	1	1	2	3	1	2	5	2	1	3	3	2	2













## ЗАНЯТИЕ 1.3. РАСЧЕТ НЕРИТМИЧНОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОТОКА

*Цель занятия:* изучение теоретических основ и овладение практическими навыками расчета и проектирования неритмичных специализированных потоков.

### 1.3.1. Теоретические основы расчета и проектирования неритмичных специализированных потоков

Особенностью неритмичных потоков является то, что в них каждый процесс протекает со своим собственным переменным ритмом. Поэтому необходимо найти такое совмещение работ, при котором выполняются следующие условия:

- разрывы в работе смежных бригад на каждой захватке являются минимальными, то есть необоснованно не увеличивается общая продолжительность строительства;
- каждый последующий процесс на захватке начинается только после окончания предыдущего;
- интервал между смежными процессами обеспечивает беспрепятственное развитие каждого процесса на всех захватках (отсутствуют перерывы при переходе бригады с захватки на захватку).

Захватка, на которой последующий процесс начинается сразу после окончания предыдущего при бесперебойном его выполнении на всех других захватках, определяет место критического сближения двух смежных частных потоков и называется **критической захваткой**. Если увеличить это сближение, то необоснованно увеличится общий срок работ, если уменьшить – последующий процесс на данной захватке начнется раньше окончания предыдущего.

Наименее трудоемким методом расчета параметров неритмичных потоков является **матричный метод**.

Первоначально составляется матрица, содержащая исходные сведения о параметрах, входящих в специализированный поток частных потоков. В строках матрицы указываются захватки ( $m$ ), а в столбцах – процессы (частные потоки ( $n$ )). В центре клеток матрицы записывается ритм  $j$ -го частного потока на  $i$ -й захватке -  $t_{ij}$  (рисунок 1.3.1).

Обозначения на рисунке 1.3.1:

$\tau_{ij}^n$  - начало  $j$ -го процесса на  $i$ -й захватке;

$\tau_{ij}^o$  - начало  $j$ -го процесса на  $i$ -й захватке ( $\tau_{ij}^o = \tau_{ij}^n + t_{ij}$ ;  $\tau_{i,j+1}^n \geq \tau_{ij}^o$ );

$t_{ij}^{орз}$  - организационный перерыв, сближение двух смежных частных потоков ( $t_{ij}^{орз} = \tau_{i,j+1}^n - \tau_{ij}^o$ ).

**Процессы**

		$j$	$j+1$
<b>Захватки</b>	$i$	$\tau_{ij}^n$  $t_{ij}$  $\tau_{ij}^o$	$\tau_{i,j+1}^n$  $t_{i,j+1}$  $\tau_{i,j+1}^o$
	$i+1$	$\tau_{i+1,j}^n$  $t_{i+1,j}$  $\tau_{i+1,j}^o$	$\tau_{i+1,j+1}^n$  $t_{i+1,j+1}$  $\tau_{i+1,j+1}^o$

**Рисунок 1.3.1 – К расчету параметров потока матричным методом**

Сроки начала и окончания первого процесса (первого частного потока) рассчитываются исходя из условия отсутствия перерывов при переходе первой бригады с захватки на захватку. При расчете па-



раметров остальных частных потоков обязательно по каждой захватке проверяется увязка с предшествующим частным потоком. Время начала любого процесса (кроме первого) на любой захватке не должно быть меньше по своей величине времени окончания предшествующего процесса на той же захватке. При этом смежные частные потоки следует максимально приблизить друг к другу, определив для каждой пары потоков хотя бы одну критическую захватку.

### 1.3.2. Пример расчета неритмичного специализированного потока

Имеется четыре смежных процесса ( $n=4$ ), которые выполняются последовательно на четырех захватках ( $m=4$ ).

		Процессы			
		1	2	3	4
Захватки	I	3	1	1	1
	II	3	4	1	2
	III	1	2	3	1
	IV	2	3	4	1

Рисунок 1.3.2 – Исходная матрица

**Шаг 1.** Составляем исходную матрицу размерностью  $m \times n$ , в центре каждой клетки указываем  $t_{ij}$  - ритм  $j$ -го частного потока на  $i$ -й захватке (рисунок 1.3.2).

**Шаг 2.** Рассчитываем сроки начала и окончания первого частного потока на отдельных захватках. При расчете исходим из принципа непрерывности выполнения процесса, т. е. после окончания процесса на 1-й захватке он начинается на 2-й:  $\tau_{11}^n = 0$ ;  $\tau_{11}^o = \tau_{11}^n + t_{11}$ ;  $\tau_{21}^n = \tau_{11}^o$  и т. д. до последней захватки (рисунок 1.3.3).

**Шаг 3.** Предполагаем, что первая захватка является критической, т. е. 2-й процесс на ней начинается сразу после окончания 1-го:  $\tau_{12}^n = \tau_{11}^o$ . Рассчитываем сроки начала и окончания второго частного потока на всех захватках по алгоритму шага 2.

Оцениваем сближения первого и второго частных потоков по каждой захватке:  $t_{ij}^{опе} = \tau_{i,j+1}^n - \tau_{ij}^o$  (разность накрест лежащих углов по вертикали).

Если все сближения неотрицательные, то предположение о том, что первая захватка является критической, оказалось верным, и переходим к расчету параметров следующего частного потока.

Если есть отрицательные сближения, то следует передвинуть на более позднее время сроки начала и окончания второго процесса, чтобы он не опережал первый. Время, на которое надо перенести начало второго процесса, определяется наибольшим по абсолютной величине отрицательным сближением:  $\Delta_{\max} = \max |t_{ij}^{опе} < 0|$ .

Сближение, равное нулю, является критическим. Такое сближение между двумя смежными частными потоками должно наблюдаться хотя бы на одной захватке.

Рассчитываем новые значения сроков начала и окончания второго процесса на отдельных захватках, а также значения сближений между данными процессами (обведены кружками на рисунке 1.3.3).

Аналогично рассчитываем параметры третьего частного потока и т. д. По полученным данным строим циклограмму неритмичного специализированного потока (рисунок 1.3.4). На циклограмме штри-



хойвой линией указан самый напряженный путь от начала до окончания работы специализированного потока, который определяется следующим образом:

- он проходит по критическим захваткам;

- он проходит также по тем захваткам, где совпадают сроки начала данного процесса с окончанием предшествующего несмежного процесса на одной из последующих (вышерасположенных на циклограмме) захваток (рисунок 1.3.4 – срок окончания 2-го процесса на 4-й захватке совпадает со сроком начала 4-го процесса на 1-й захватке).

### Процессы

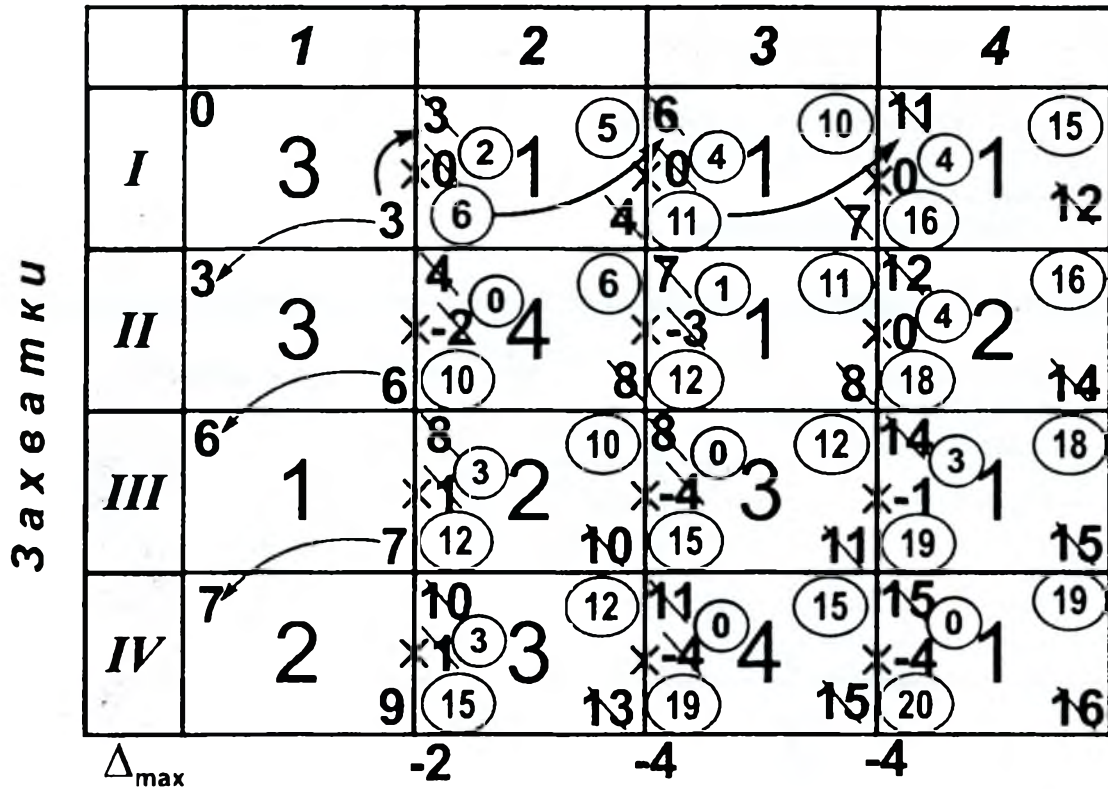


Рисунок 1.3.3 – Расчет неритмичного специализированного потока матричным методом

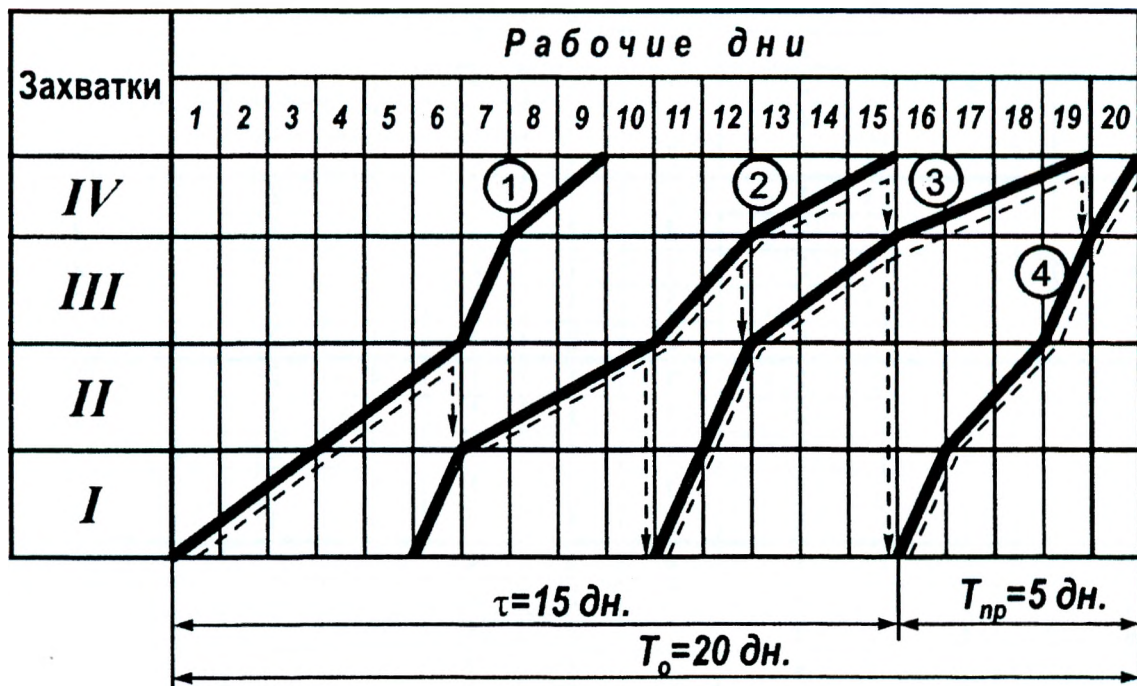


Рисунок 1.3.4 – Циклограмма неритмичного специализированного потока

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

Выполните расчет неритмичного специализированного потока матричным способом. Постройте циклограмму неритмичного специализированного потока. Выполните на графике поиск самого напряженного пути (путей).

Исходные данные представлены в таблицах 1.3.1 и 1.3.2.

**Варианты 1 - 20**

Состав работ специализированного потока по устройству подземной части здания:

- 1) - разработка грунта;
- 2) - монтаж фундаментов и стен подвала;
- 3) - монтаж перекрытия над подвалом;
- 4) - гидроизоляция;
- 5) - обратная засыпка и уплотнение.

**Таблица 1.3.1 – Варианты 1 – 20 заданий по теме «Расчет неритмичного специализированного потока»**

Варианты	Общее число зданий (захваток), <i>m</i>	Процессы, <i>n</i>	Ритм работы бригад на захватках, дн.							
			<i>t</i>							
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
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	1	1	2	2	2	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	1	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				

Продолжение таблицы 1.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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	2	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				
16	8	1	1	2	1	1	2	2	1	1
		2	2	2	2	2	1	2	2	1
		3	1	1	1	1	3	1	2	1
		4	3	1	1	1	1	3	1	1
		5	1	1	1	1	1	2	2	2

Продолжение таблицы 1.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
17	7	1	2	2	3	1	1	1	2	
		2	2	2	2	2	2	2	1	
		3	2	2	3	1	2	2	2	
		4	1	1	1	2	1	2	1	
		5	2	2	3	2	1	1	1	
18	6	1	2	3	2	1	2	2		
		2	1	1	1	2	1	2		
		3	2	4	2	2	1	1		
		4	1	2	2	1	2	1		
		5	2	2	1	1	1	1		
19	5	1	3	4	2	1	2			
		2	2	2	2	1	2			
		3	2	3	1	2	1			
		4	1	1	2	1	3			
		5	2	1	1	2	1			
20	4	1	2	3	4	5				
		2	1	2	1	3				
		3	2	2	1	3				
		4	1	1	2	1				
		5	1	1	4	3				

**Варианты 21 - 35**

Состав работ специализированного потока по устройству кровли:

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

Таблица 1.3.2 – Варианты 21 – 35 заданий по теме «Расчет неритмичного специализированного потока»

Варианты	Общее число зданий (захваток), <i>m</i>	Процессы, <i>n</i>	Ритм работы бригад на захватках, дн.								
			<i>t</i>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
21	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		
22	8	1	2	7	3	5	1	2	3	1	
		2	3	2	2	3	3	2	2	3	
		3	2	4	1	2	2	2	2	1	
		4	4	3	2	2	2	2	1	1	
23	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				
24	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			



Продолжение таблицы 1.3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
25	8	1	2	2	4	1	2	2	4	2
		2	1	1	2	1	1	1	2	1
		3	2	2	3	2	2	1	1	1
		4	2	2	3	1	2	2	2	2
26	7	1	1	3	2	1	3	2	1	
		2	2	2	1	2	2	1	1	
		3	2	2	3	1	2	3	2	
		4	2	3	4	1	1	1	2	
27	5	1	1	3	1	3	1			
		2	1	2	1	2	1			
		3	2	3	2	4	2			
		4	2	4	2	4	2			
28	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		
29	8	1	2	3	1	2	3	1	2	1
		2	1	1	2	2	1	1	3	1
		3	3	1	4	1	2	2	1	1
		4	3	2	1	2	1	2	1	2
30	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			
31	6	1	1	2	4	3	1	3		
		2	2	1	1	2	1	1		
		3	1	2	3	2	1	2		
		4	2	3	1	2	2	2		
32	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	
33	8	1	1	4	2	6	2	2	1	1
		2	2	3	1	3	2	3	1	2
		3	1	2	1	4	2	2	1	3
		4	2	4	1	4	1	2	1	2
34	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			
35	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		



## ТЕМА 2. ОСНОВЫ СЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### ЗАНЯТИЕ 2.1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

**Цель занятия:** изучение теоретических основ сетевого моделирования, овладение практическими навыками построения сетевых моделей выполнения комплекса строительно-монтажных работ при строительстве отдельных объектов.

#### 2.1.1. Теоретические основы сетевого моделирования

**Сетевая модель** представляет собой стрелочную диаграмму, схематически изображающую последовательность выполнения работ и их организационно-технологические взаимосвязи. В основе построения сетевой модели лежат два понятия: работа и событие.

**Работа** – производственный процесс, который требует затрат времени и ресурсов и приводит к достижению определенного результата (рисунок 2.1.1).

**Событие** – факт начала или окончания одной или нескольких работ. События ограничивают работу и по отношению к ней могут быть **начальными** и **конечными**. В сетевой модели есть два особых события: **исходное** – событие, не имеющее предшествующих работ; **завершающее** – событие, не имеющее последующих работ.

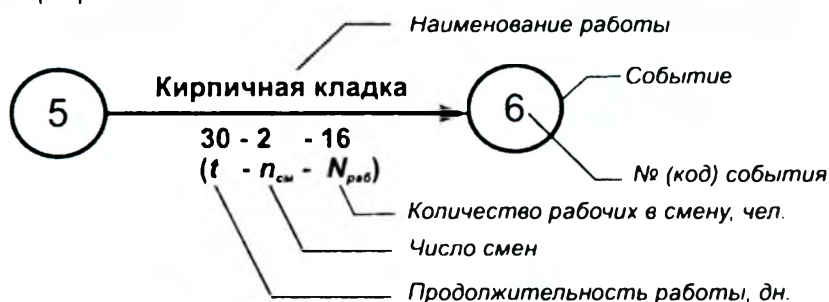


Рисунок 2.1.1 – Изображение работ и событий

**Ожидание** – процесс, который требует только затрат времени и не требует затрат ресурсов. К ожиданиям относят организационные или технологические перерывы между работами (рисунок 2.1.2).

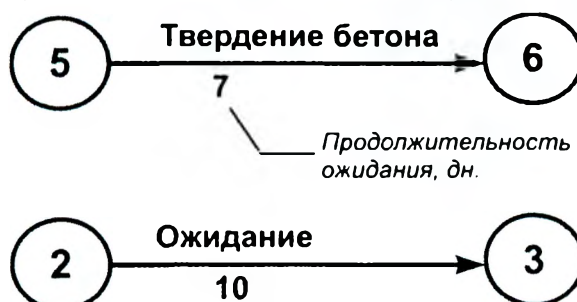


Рисунок 2.1.2 – Изображение ожиданий

**Зависимость** (фиктивная работа) – элемент сетевой модели, используемый для отражения технологической и организационной взаимосвязи работ и не требует затрат времени и ресурсов (рисунок 2.1.3).

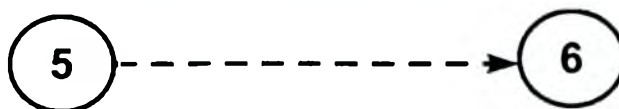


Рисунок 2.1.3 – Изображение зависимостей (фиктивных работ)

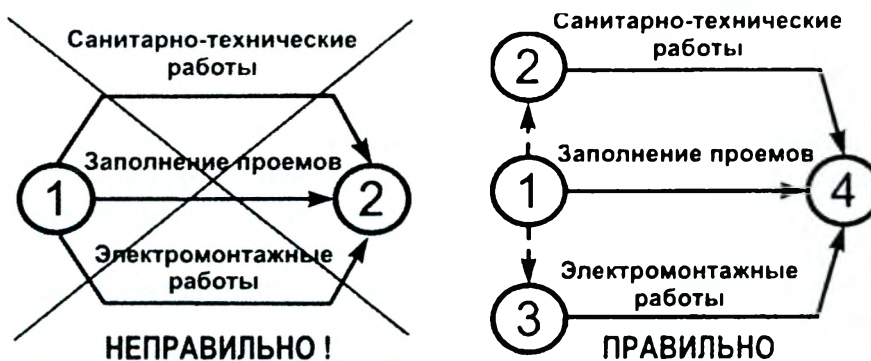
**Путь** – непрерывная последовательность работ сетевой модели. Длина пути равна сумме продолжительностей составляющих его работ. Путь, идущий от исходного до завершающего события, называется **полным путем**. Обычно полных путей в сетевой модели несколько.

**Критический путь** – это полный путь, который имеет наибольшую продолжительность из всех полных путей. Его длина определяет общую продолжительность выполнения работ по сетевому графику.

**Основные правила построения сетевых моделей** (рисунки 2.1.4 – 2.1.10):

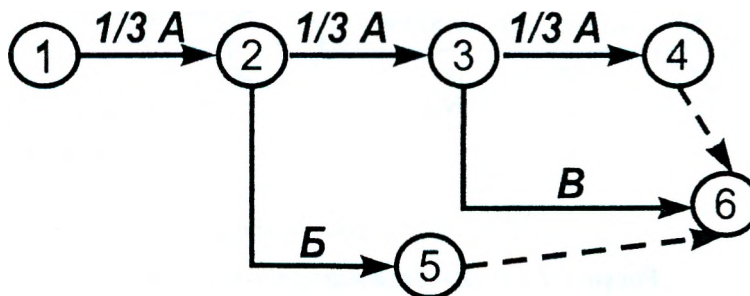
1. Форма графика должна быть простой, без лишних пересечений, большинство работ следует изображать горизонтальными линиями.

2. При изображении **параллельных работ** следует вводить дополнительное событие и зависимость, иначе работы будут иметь одинаковый код (номер начального и конечного события).



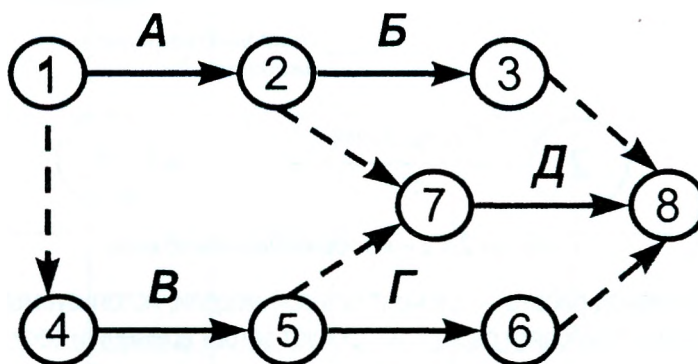
**Рисунок 2.1.4 – Изображение параллельных работ**

3. Если какую-либо работу можно начать после частичного выполнения предшествующей работы, то последнюю следует разбить на части, каждая из которых рассматривается как самостоятельная работа.



**Рисунок 2.1.5 – Разбивка работ на части**

4. Если после окончания работы **А** можно начать работу **Б**, после окончания работы **В** можно начать работу **Г**, а для начала работы **Д** необходим результат завершения работ **А** и **В**, то это изображается с помощью зависимостей.



**Рисунок 2.1.6 – Изображение зависимости между работами**

5. В сетевой модели не должно быть «**тупиков**», «**хвостов**» и «**замкнутых контуров**». «Тупик» – это событие (кроме завершающего), не имеющее последующих работ. «Хвост» - это событие (кроме исходного), не имеющее предшествующих работ. «Замкнутый контур» - неправильное направление работ в сетевой модели, когда они возвращаются к тому событию, из которого вышли.

6. При изображении **поточных работ** особое внимание уделяется правильной разбивке на захватки и выявлению взаимосвязей между смежными работами. Следует избегать «**технологических прорелов**» - таких взаимосвязей между работами, когда начало последующих работ зависит от



окончания не конкретных предшествующих, а всех выше расположенных в модели работ (рисунок 2.1.8). Для этого в средних рядах модели необходимо вводить дополнительные события и зависимости, а все работы показывать со своими собственными начальными и конечными событиями (рисунки 2.1.9, 2.1.10).

На горизонтальном участке сетевой модели могут быть показаны или однородные работы по всем захваткам (рисунок 2.1.9), или весь комплекс работ на одной захватке (рисунок 2.1.10).

### НЕПРАВИЛЬНО!

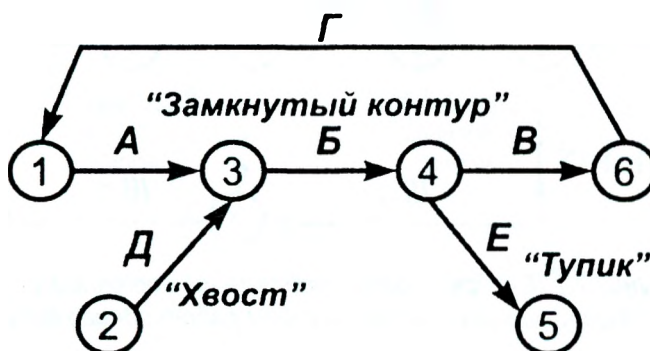


Рисунок 2.1.7 – Неправильное построение сети с «тупиками», «хвостами», «замкнутыми контурами»

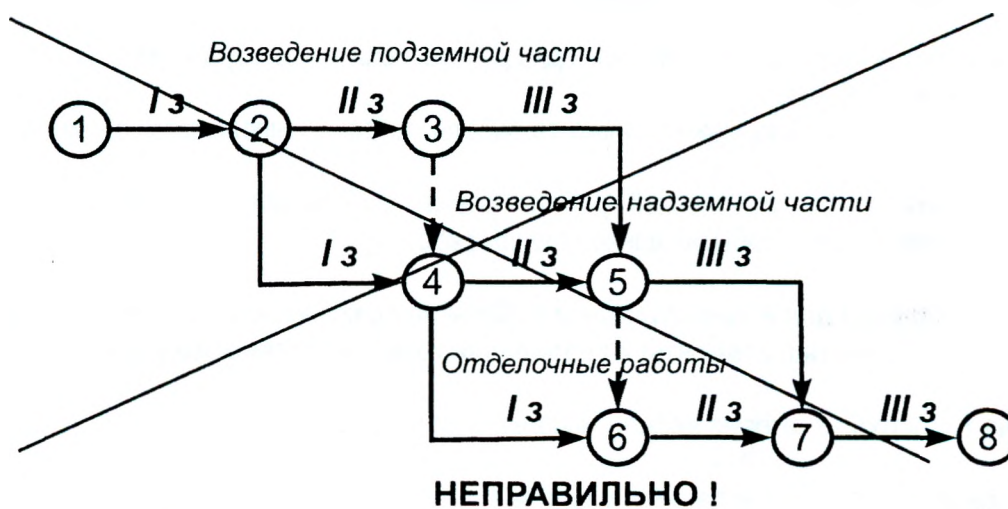


Рисунок 2.1.8 – Неправильное изображение поточных работ

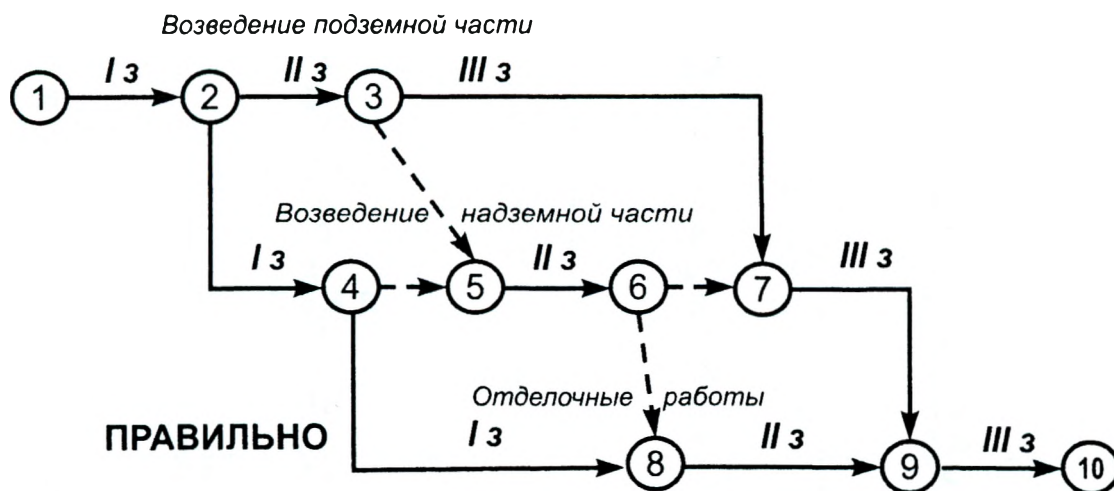
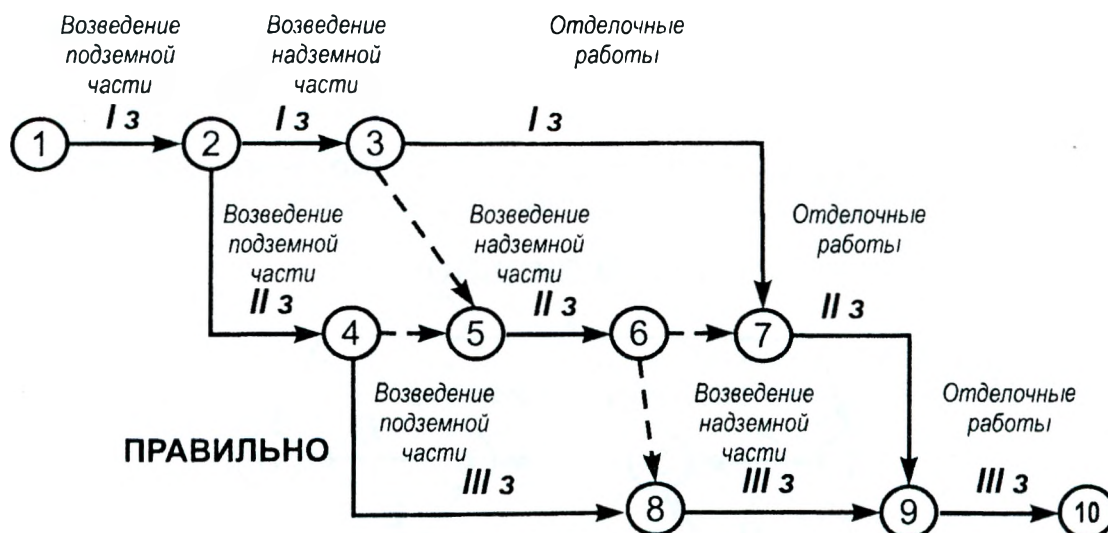


Рисунок 2.1.9 – Правильное изображение поточных работ с горизонтальным расположением работ одного вида



**Рисунок 2.1.10 – Правильное изображение поточных работ с вертикальным расположением работ одного вида**

7. **Нумерация событий** должна соответствовать последовательности работ во времени, т. е. номер начального события всегда должен быть меньше номера конечного события данной работы.

8. **Укрупнение работ** в сетевой модели должно производиться с соблюдением следующих требований:

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

**Задания для индивидуальной работы на практических занятиях по теме «Основные элементы и правила построения сетевых моделей»**

**Задача 1.** Постройте сетевую модель, используя данные таблицы 2.1.1

**Таблица 2.1.1 – Исходные данные к задаче 1**

Варианты	Работы		Варианты	Работы	
	рассматриваемая	последующая		рассматриваемая	последующая
1	2	3	4	5	6
1	A	Б, В	18	A	Б
	Б	С		½ Б	В
	½ Б	Д		Б	С, Д, Е
	В, С, Д	Е		В, С, Д, Е	К
2	½ А	Б	19	A	Б
	Б	В		Б	В, Г, Д
	½ В	Г, Д		½ Д	Е
	А, Д, В, Г	Е		Д, Е, В, Г	К
3	A	Б	20	A	Б, В
	½ А	В, Г		Б	Г
	В, Г	Д		½ Г	Д
	Б, Д	Е		В, Г, Д	Е
4	A	Б, В, Г	21	½ А	Б
	Б, В	Д		½ Б	В
	В, Г	Е		½ В	Г
	Е, Д	К		А, Б, В, Г	Д

Продолжение таблицы 2.1.1

1	2	3	4	5	6
5	A ½ A Б, Г В, Д	Б, В Г Д Е	22	½ A Б А, Г В Е, Д	Б В, Г Д Е К
6	A Б ½ В, Г В, Д	Б В, Г Д Е	23	A ½ Б, ½ В Б, В Г, Д, Е	Б, В, Г Д Е К
7	½ A A Б, В Г, Д	Б В, Г Д Е	24	A Б 1/3 В В, Г Д, Е	Б, В Г Д Е К
8	1/3 A 2/3 A Б, Г В, Д А, Е, Л	Б, В Г, Д Е Л К	25	A ½ Б Б, В 1/3 Г Г, Д	Б В Г Д Е
9	½ A ½ Б Б В, Г А, Д	Б В Г Д Е	26	A, Б Б ½ В, Г ½ Д В, Д, Е	В Г Д Е К
10	A ½ Б, В Г Б, Д	Б, В Г Д Е	27	A, ½ Б Б, ½ В В, ½ Г Г, Е	В Г Е К
11	A ½ Б Б, ½ В В, Г	Б В Г Д	28	A ½ Б ½ В Г, Д Б, В, Е	Б, В Г Д Е К
12	A ½ A Б, В 1/3 Г 2/3 Г Г, Д, К	Б В Г Д К Л	29	1/3 A 2/3 A 1/3 Б 2/3 Б А, Б В, Г, Д, Е	Б В Г Д Е К
13	A ½ Б Б, Г В, Г Д, Е	Б, В Г Д Е К	30	½ A ½ Б А, Б Б, В Д, Е	Б В Д Е К
14	A 1/3 Б Б, В 1/3 Г 2/3 Г Г, Д, Е	Б В Г Д Е К	31	A, Б В 1/3 Г 2/3 Г Г, Д, Е	В Г Д Е К

Продолжение таблицы 2.1.1

1	2	3	4	5	6
15	А ½ А Б, В ½ Б, ½ В Г, Д	Б В Г Д Е	32	А ½ Б ½ В В, Г Б, В Е, Д	Б В Г Д Е К
16	½ А А, В А, Б ½ Г, ½ Д Г, Д, Е	Б, В Г Д Е К	33	½ А А ½ Г, Б Г, Д В, Е	Б В, Г Д Е К
17	А, Б ½ А ½ В, ½ Г В, Г, Д	В Г Д Е	34	А 1/3 Б 2/3 Б, В В Б, Г, Д	Б В Г Д Е

**Основные элементы и правила построения сетевых моделей (занятие 2.1, задача 1)**

Исходные данные:

Вариант	Работы	
	рассматриваемая	последующая
—		

Решение:

**Сетевая модель**



**Задача 2.** Используя данные таблицы 2.1.2, постройте сетевую модель выполнения комплекса работ поточным методом при строительстве отдельного объекта (комплекса объектов).

**Таблица 2.1.2 – Исходные данные к задаче 2 по теме «Основные элементы и правила построения сетевых моделей»**

Варианты	Наименование объекта или вида работ	Число захваток	Наименование работ	Продолжительность выполнения работы на одной захватке, дн.	Количество исполнителей в смену, чел.	Число смен в сутки
1	2	3	4	5	6	7
1	Жилой дом (нулевой цикл)	4	1 Разработка грунта	2	4	2
			2 Монтаж фундаментов	6	6	2
			3 Гидроизоляция	3	2	1
			4 Обратная засыпка	1	2	1
2	Общественно-культурный центр (нулевой цикл)	4	1 Разработка грунта	2	4	2
			2 Устройство свайного основания	4	6	2
			3 Устройство ростверка	5	4	2
			4 Обратная засыпка	2	4	1
3	Одноэтажное производственное здание	4 по пролетам	1 Монтаж колонн	4	4	2
			2 Монтаж ферм и плит	8	6	2
			3 Монтаж стеновых панелей (по сторонам):			
			1-3	2	4	2
			2-4	4	4	2
			(работают 2 крана)			
4	Одноэтажное производственное здание	3 по пролетам	1 Монтаж колонн	2	5	2
			2 Монтаж ферм и плит	4	6	2
			3 Монтаж стеновых панелей (по сторонам):			
			1-3	3	4	2
			2-4	5	4	2
			(работают 2 крана)			
			4 Кровельные работы	4	6	1
5	3-этажный 2-секционный жилой дом	секция в пределах этажа	1 Кирпичная кладка	6	10	2
			2 Монтаж перекрытий и лестниц	4	5	2
			3 Устройство кровли	4	6	1
6	2-этажный 3-секционный жилой дом	секция в пределах этажа	1 Устройство перегородок	6	4	2
			2 Заполнение проемов	4	6	1
			3 Подготовка под полы	3	4	1
7	3-этажный 4-секционный жилой дом	секция	1 Штукатурные работы	8	8	1
			2 Облицовочные работы	4	6	1
			3 Малярные работы	6	6	1
			4 Линолеумные полы	2	4	1
8	Кровельные работы	4	1 Пароизоляция	4	4	1
			2 Утепление	6	4	1
			3 Стяжка	4	2	1
			4 Рулонный ковер	4	6	1

Продолжение таблицы 2.1.2

1	2	3	4	5	6	7
9	3-этажное административное здание	этаж	1 Штукатурные работы	10	12	1
			2 Облицовочные работы	6	4	1
			3 Паркетные полы	10	4	1
			4 Малярные работы	8	10	1
			5 Подвесной потолок	4	4	1
10	Комплекс жилых домов	4	1 Подземная часть	10	10	2
			2 Надземная часть	20	10	2
			3 Специальные работы	5	4	1
			4 Отделочные работы	10	20	1
11	Комплекс жилых домов	4	1 Подземная часть	10	6	2
			2 Надземная часть (работают 2 бригады)	20	10	2
			3 Специальные работы	5	5	1
			4 Отделочные работы	10	10	1
12	3-этажный 4-секционный жилой дом	секция	1 Штукатурные работы (работают 2 бригады)	10	8	1
			2 Облицовочные работы	4	6	1
			3 Малярные работы	6	6	1
			4 Линолеумные полы	2	4	1
13	Кровельные работы	4	1 Пароизоляция	4	4	1
			2 Утепление (работают 2 звена)	6	4	1
			3 Стяжка	4	2	1
			4 Рулонный ковер	4	6	1
14	Одноэтажное производственное здание	3 по пролетам	1 Монтаж колонн	5	4	2
			2 Монтаж ферм и плит	8	6	2
			3 Монтаж стеновых панелей (по сторонам):			
			1-3	2	4	2
			2-4	5	4	2
			(работают 3 крана)			
15	Одноэтажное производственное здание	3 по пролетам	1 Монтаж колонн	4	4	2
			2 Монтаж ферм и плит	10	6	2
			3 Монтаж стеновых панелей (по сторонам):			
			1-3	2	4	2
			2-4	6	4	2
			(количество кранов - любое)			
16	Монолитные конструкции	4	1 Опалубка	4	6	1
			2 Армирование	2	4	1
			3 Бетонирование	10	6	2
			4 Распалубка	2	2	1
17	Монолитные конструкции	4	1 Опалубка	4	6	1
			2 Армирование	2	4	1
			3 Бетонирование (работают 2 бригады)	10	6	2
			4 Распалубка	2	2	1

Продолжение таблицы 2.1.2

1	2	3	4	5	6	7
18	Автомобильная дорога	3	1 Разработка грунта	2	4	1
			2 Установка бортового камня	2	4	1
			3 Песчаное основание	4	6	1
			4 Бетонное основание	4	4	2
			5 Асфальтобетонное покрытие	4	4	1
19	Наружные сети водоснабжения	3	1 Разработка грунта	2	4	1
			2 Укладка труб и установка арматуры	6	6	2
			3 Устройство колодцев	4	5	1
			4 Испытание	1	3	1
			5 Обратная засыпка	2	4	1
20	Торговый центр	3	1 Устройство перегородок	10	4	2
			2 Заполнение проемов	8	4	1
			3 Устройство витражей	2	4	1
			4 Подготовка под полы	4	5	1
21	5-этажное производственное здание	этаж	1 Монтаж каркаса	12	6	2
			2 Установка стеновых панелей и оконных блоков	6	5	2
			3 Заполнение дверных проемов	4	6	1
22	3-этажное производственное здание	этаж	1 Штукатурные и облицовочные работы	6	12	1
			2 Подвесные потолки	7	6	1
			3 Мозаичные полы	5	6	1
			4 Дощатые полы	8	4	1
			5 Малярные работы	4	10	1
23	Кровельные работы	4	1 Устройство стропил и обрешетки	5	6	1
			2 Пароизоляция и утепление пола чердака	2	4	1
			3 Устройство кровли из черепицы	8	6	1
			4 Устройство мелких покрытий из стали	2	2	1
24	Монолитные резервуары	3	1 Разработка грунта	2	6	2
			2 Устройство основания	4	6	2
			3 Устройство днища	4	6	2
			4 Устройство стен	4	4	2
			5 Испытание и отделка	2	4	1
25	Монолитные резервуары	4	1 Разработка грунта	2	4	1
			2 Устройство основания	2	6	2
			3 Устройство днища и стен (работают 2 бригады)	6	6	2
			4 Испытание и отделка	2	4	1
26	Прокладка электросети	4	1 Рытье траншей	3	6	1
			2 Устройство постели и укладка кабеля	4	4	1
			3 Монтаж сетей и опор освещения	5	6	1
			4 Обратная засыпка	1	2	1

Продолжение таблицы 2.1.2

1	2	3	4	5	6	7
27	3-этажный 4-секционный жилой дом	секция	1 Штукатурные работы	10	12	1
			2 Облицовочные работы	6	8	1
			3 Малярные работы	8	12	1
			4 Линолеумные полы	4	8	1
			(все работы выполняются 2 бригадами)			
28	Прокладка теплосетей	4	1 Разработка траншей и котлованов	4	4	2
			2 Устройство каналов и колодцев	5	6	1
			3 Укладка труб и испытание сетей	4	5	1
			4 Изоляция труб	4	6	1
			5 Обратная засыпка	1	2	2
29	2-этажный 4-секционный жилой дом	секция в преде- лах этажа	1 Кирпичная кладка	6	8	2
			2 Монтаж перекрытий	2	4	2
			3 Общестроительные работы	8	6	1
30	Одноэтажное производственное здание	3 по проле- там	1 Подготовка под кровлю	10	6	1
			2 Устройство кровли	6	8	1
			3 Заполнение проемов	8	6	1
			4 Бетонные полы	12	10	2
31	Одноэтажное производственное здание	3 по проле- там	1 Устройство перегородок	4	6	2
			2 Заполнение проемов	6	4	1
			3 Бетонные полы	10	12	2
			4 Отделочные работы	5	8	1
32	5-этажный 3-секционный жилой дом	секция	1 Штукатурные работы	8	8	1
			2 Облицовочные работы	4	6	1
			3 Дощатые полы	8	6	1
			4 Малярные работы	6	10	1
			5 Наклейка обоев	4	6	1
33	Наружные сети канализации	3	1 Разработка грунта	3	4	1
			2 Укладка труб и установка арматуры	4	6	2
			3 Устройство колодцев	3	6	1
			4 Испытание	1	3	1
			5 Обратная засыпка	2	4	1
34	Торговый центр	4	1 Штукатурные работы (работают 2 бригады)	10	10	1
			2 Облицовочные работы и мозаичные полы (работают 2 бригады)	8	6	1
			3 Малярные работы	6	10	1



**Основные элементы и правила построения сетевых моделей (занятие 2.1, задача 2)**  
**Секторный метод расчета временных параметров сетевых графиков (занятие 2.2)**

**Исходные данные:**

Вариант	Наименование объекта или вида работ	Число захваток	Наименование работ	Продолжительность выполнения работы на одной захватке, дн.	Количество исполнителей в смену, чел.	Число смен в сутки
_____						

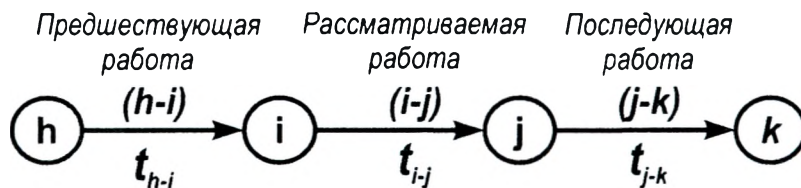
**Решение:**

*Рекомендуется принять диаметр кругов, изображающих события, не менее 1 см, чтобы можно было использовать построенную сетевую модель в дальнейшем при расчете временных параметров секторным методом*

## ЗАНЯТИЕ 2.2. СЕКТОРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ

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

### 2.2.1. Временные параметры сетевых графиков



**Рисунок 2.2.1 – Общая схема кодирования работ и событий**

Обозначения на рисунке 2.2.1:

$i-j$  – 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  $j-k$ .

Характеристика временных параметров сетевых графиков приведена в таблице 2.2.1

**Таблица 2.2.1 – Характеристика временных параметров сетевых графиков**

Обозначение	Наименование	Определение	Расчетная формула
1	2	3	4
$t_{i-j}^{pn}$	<b>Раннее начало работы <math>i-j</math></b>	Самый ранний из возможных сроков начала работы при условии выполнения всех предшествующих работ	$t_{i-j}^{pn} = \max (t_{h-i}^{pn} + t_{h-i}) = \max t_{h-i}^{po}$
$t_{i-j}^{po}$	<b>Раннее окончание работы <math>i-j</math></b>	Время окончания работы при условии, что она начата в самый ранний срок	$t_{i-j}^{po} = t_{i-j}^{pn} + t_{i-j}$
$t_{i-j}^{nn}$	<b>Позднее начало работы <math>i-j</math></b>	Самый поздний из возможных сроков начала работы, при котором не увеличится общая продолжительность работ по графику (продолжительность критического пути)	$t_{i-j}^{nn} = t_{i-j}^{no} - t_{i-j}$
$t_{i-j}^{no}$	<b>Позднее окончание работы <math>i-j</math></b>	Время окончания работы при условии, что она начата в самый поздний срок	$t_{i-j}^{no} = \min (t_{j-k}^{no} - t_{j-k}) = \min t_{j-k}^{nn}$
$R_{i-j}$	<b>Общий резерв времени работы <math>i-j</math></b>	Время, на которое можно перенести начало выполнения данной работы или увеличить ее продолжительность без изменения общей продолжительности работ по графику (продолжительности критического пути)	$R_{i-j} = t_{i-j}^{nn} - t_{i-j}^{pn} = t_{i-j}^{no} - t_{i-j}^{po} = t_{i-j}^{no} - (t_{i-j}^{pn} + t_{i-j})$
$r_{i-j}$	<b>Частный резерв времени работы <math>i-j</math></b>	Время, на которое можно перенести начало выполнения данной работы или увеличить ее продолжительность без изменения ранних начал последующих работ	$r_{i-j} = t_{j-k}^{pn} - t_{i-j}^{po} = t_{j-k}^{pn} - (t_{i-j}^{pn} + t_{i-j})$
$t_{кр}$	<b>Продолжительность критического пути</b>	Наибольшая из продолжительностей полных путей сетевого графика, определяющая общий срок работ по графику	$t_{кр} = \max t_{заверш. работ}^{po}$

### Свойства резервов времени:

- между резервами времени существует зависимость:  $R_{i-j} \geq r_{i-j} \geq 0$ ;
- резервы времени работ, лежащих на критическом пути, равны нулю:  $R_{i-j}^{крит} = r_{i-j}^{крит} = 0$ ;
- 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 изменятся;
- при оптимизации сетевых графиков с использованием частных резервов времени не требуется выполнять пересчет временных параметров сетевого графика;
- при оптимизации сетевых графиков с использованием общих резервов времени требуется выполнять пересчет временных параметров сетевого графика.

### 2.2.2. Расчет временных параметров 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 (рисунок 2.2.2), что определяет высокую наглядность данного метода.

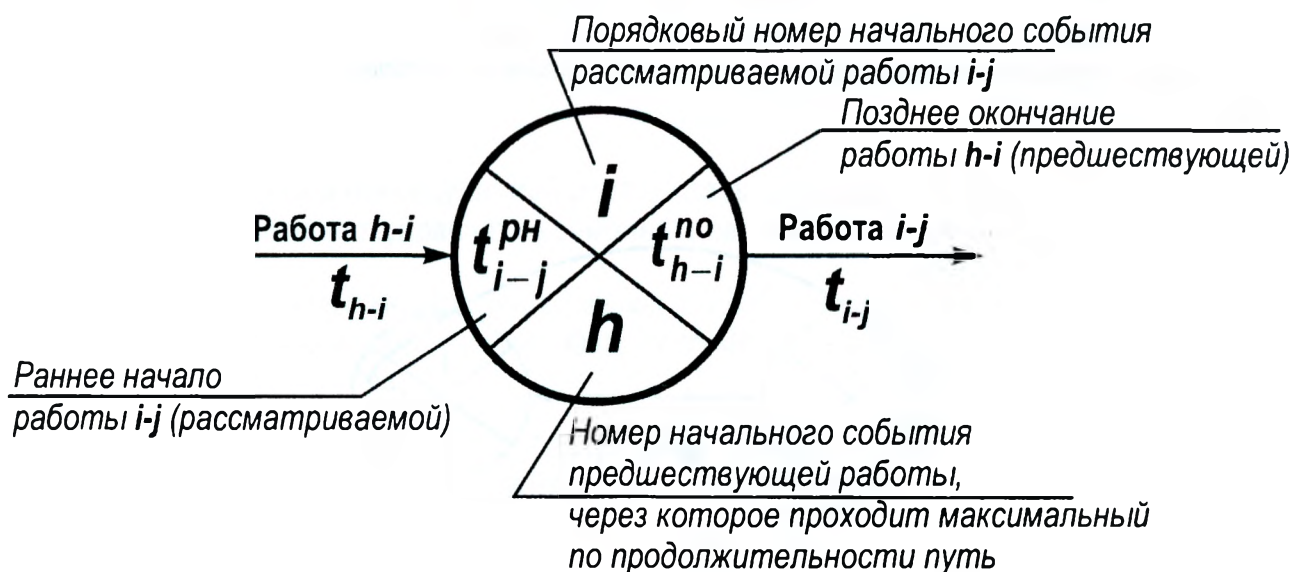


Рисунок 2.2.2 – Ключ к расчету секторным методом

#### Порядок расчета

**Шаг 1.** Заполняем **верхние сектора событий** - нумеруем все события согласно установленному выше правилу (см. занятие 2.1).

**Шаг 2.** Заполняем **левые сектора событий** – определяем значения ранних начал работ и заносим их в левый сектор начального события работы:  $t_{i-j}^{рн} = \max (t_{h-i}^{рн} + t_{h-i})$ .

Ранние начала работ, выходящих из исходного события (начальных работ), принимаем равными нулю:  $t_{i-j}^{рн} = 0$ . Далее расчет ведем, двигаясь от исходного события сетевого графика к завершающему по направлению стрелок. Для зависимостей принимаем продолжительность, равную нулю.

Одновременно заполняем **нижний сектор события**, где указываем номер начального события предшествующей работы, через которое проходит максимальный по продолжительности путь к данному событию.

**Шаг 3.** В завершающем событии значение левого сектора определяет общий срок работ по графику  $t_{кр}$ . Приравняем ему значение позднего окончания завершающих работ:  $t_{заверш. работ}^{но} = t_{кр}$  (то есть в завершающем событии значения левого и правого секторов должны быть одинаковыми).

**Шаг 4.** Заполняем *правые сектора событий* – определяем значения поздних окончаний работ и заносим их в правый сектор конечного события работы:  $t_{i-j}^{no} = \min(t_{j-k}^{no} - t_{i-j})$ . Расчет ведется от завершающего события сетевого графика к исходному событию при движении против направления стрелок. При правильном расчете в исходном событии сетевого графика в обоих секторах получаются нулевые значения.

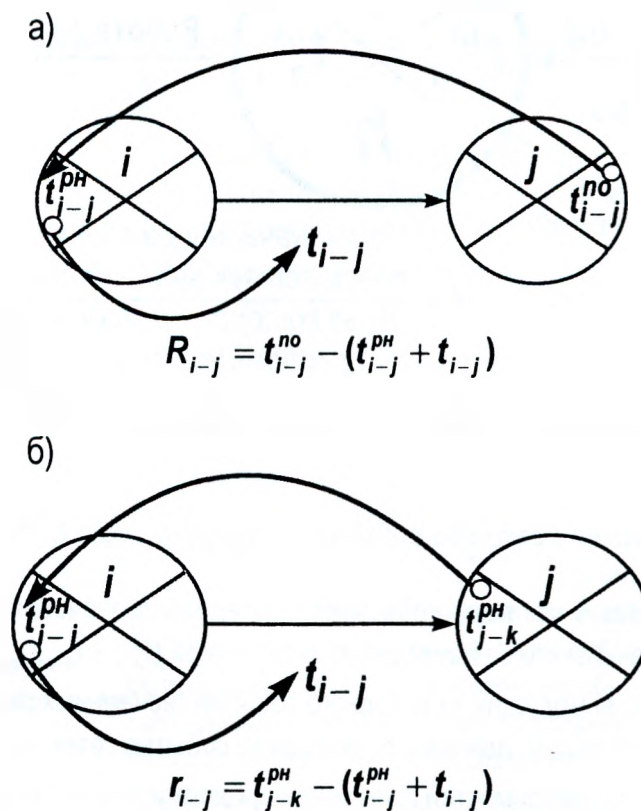
**Шаг 5.** Рассчитываем *общие резервы времени*, вычитая из значения правого сектора конечного события работы значение левого сектора начального события работы и ее продолжительность:  $R_{i-j} = t_{i-j}^{no} - (t_{i-j}^{pn} + t_{i-j})$  - см. рисунок 2.2.3 (а).

**Шаг 6.** Определяем *частные резервы времени*, вычитая из значения левого сектора конечного события работы значение левого сектора начального события работы и ее продолжительность:  $r_{i-j} = t_{j-k}^{pn} - (t_{i-j}^{pn} + t_{i-j})$  - см. рисунок 2.2.3 (б).

Резервы времени указываются на сетевом графике в виде дроби: сверху – общий резерв, снизу – частный резерв. Если у некоторой работы значения левого и правого секторов конечного события равны, то значения общего и частного резервов времени данной работы одинаковые.

**Шаг 7.** Определяем критические работы, общий и частный резервы времени которых равны нулю ( $R_{i-j}^{крит} = r_{i-j}^{крит} = 0$ ), и отмечаем на графике *критический путь*, как правило, жирной линией или цветом. Критический путь должен проходить без разрывов от исходного до завершающего события.

Пример расчета временных параметров сетевого графика с использованием секторного метода приведен на рисунке 2.2.4.



а – расчет общего резерва времени; б – расчет частного резерва времени  
Рисунок 2.2.3 – Схемы к расчету резервов времени работы сетевого графика



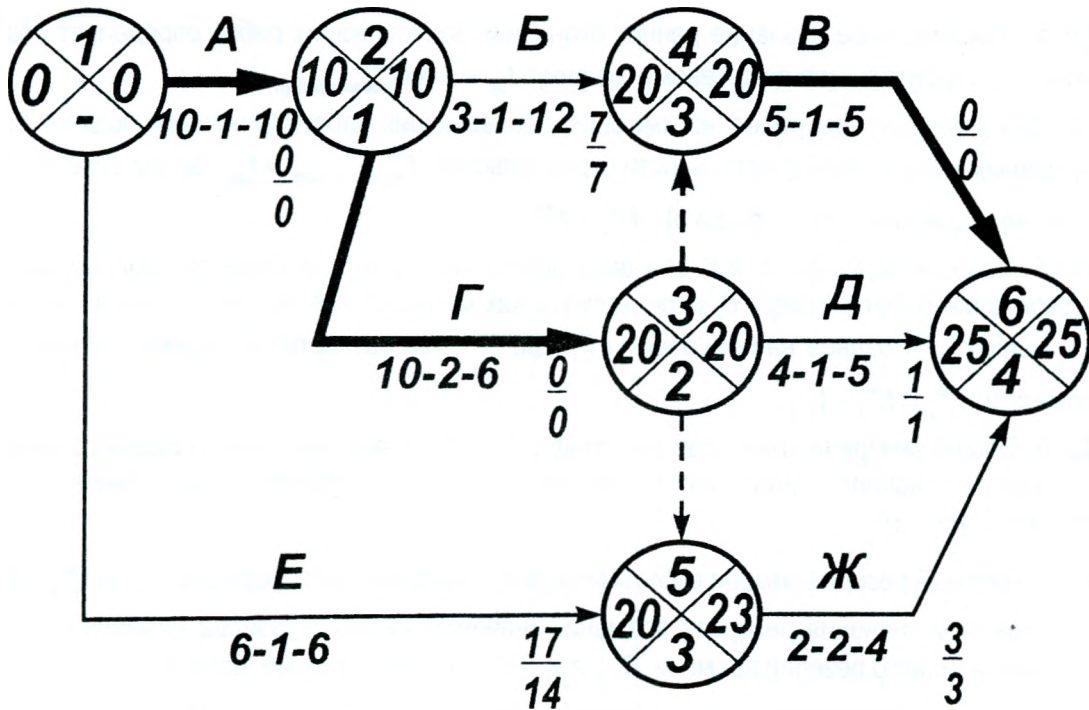


Рисунок 2.2.4 – Пример расчета временных параметров сетевого графика секторным методом

**Задания для индивидуальной работы на практических занятиях по теме «Секторный метод расчета временных параметров сетевых графиков»**

Выполните секторным методом расчет временных параметров, используя сетевую модель, разработанную при выполнении практической работы по теме 2.1 (задача 2).

**ЗАНЯТИЕ 2.3. ТАБЛИЧНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ**

**Цель занятия:** овладение навыками расчета временных параметров сетевых графиков табличным методом и ознакомление с возможностями применения данного метода для автоматизации расчетов.

При расчете сетевого графика табличным методом предварительно составляется таблица (пример в таблице 2.3.1), куда в дальнейшем заносятся все результаты расчета. Расчет ведется по рассмотренным ранее в таблице 2.2.1 формулам. Табличный метод лежит в основе автоматизации расчетов временных параметров сетевых графиков.

**Порядок расчета**

**Шаг 1.** Анализируем сетевую модель и определяем для каждой работы комплекс предшествующих работ.

**Шаг 2.** Заносим в таблицу коды работ  $i-j$  (графа 1) в порядке возрастания номеров начальных событий и продолжительности выполнения работ  $t_{i-j}$  (графа 2). Для зависимостей указываем нулевую продолжительность.

**Шаг 3.** Заполняем графы 3 и 4. Для начальных работ их ранние начала (графа 3) принимаются равными нулю:  $t_{i-j}^{pn} = 0$ . Ранние начала остальных работ определяются как  $t_{i-j}^{pn} = \max t_{h-j}^{po}$ .

Раннее окончание работы (графа 4) определяется по формуле:  $t_{i-j}^{po} = t_{i-j}^{pn} + t_{i-j}$ .

Расчет ведем, двигаясь по таблице сверху вниз.

**Шаг 4.** Максимальное значение ранних окончаний завершающих работ определяет общую продолжительность строительства по сетевому графику:  $t_{кр} = \max t_{заверш. работ}^{po}$ .

Для всех завершающих работ, не имеющих последующих работ, принимаем позднее окончание (графа 6) равным общей продолжительности строительства:  $t_{заверш. работ}^{no} = t_{кр}$ . Затем определяем позднее начало завершающих работ (графа 5) -  $t_{i-j}^{nn} = t_{i-j}^{no} - t_{i-j}$ .

**Шаг 5.** Заполняем графы 5 и 6 для всех остальных работ, двигаясь по таблице снизу вверх. Позднее окончание работы (графа 6) определяется как минимальное из поздних начал последующих работ:  $t_{i-j}^{no} = \min t_{j-k}^{nn}$ . Позднее начало работы (графа 5) – как разность ее позднего окончания и продолжительности:  $t_{i-j}^{nn} = t_{i-j}^{no} - t_{i-j}$ .

**Шаг 6.** Общий резерв времени работы (графа 7) определяем, вычитая из позднего начала работы ее раннее начало или из позднего окончания работы ее раннее окончание:  $R_{i-j} = t_{i-j}^{nn} - t_{i-j}^{pn} = t_{i-j}^{no} - t_{i-j}^{po}$ .

**Шаг 7.** Частный резерв времени работы (графа 8) определяем по формуле:  $r_{i-j} = t_{j-k}^{pn} - t_{i-j}^{po}$ .

Сопоставляем значения резервов времени. Значения частного резерва времени не могут превышать значения общего резерва времени  $R_{i-j} \geq r_{i-j} \geq 0$ . Следовательно, если  $R_{i-j} = 0$ , то и  $r_{i-j} = 0$ .

**Шаг 8.** Определяем критические работы (графа 9), у которых отсутствуют резервы времени:  $R_{i-j} = r_{i-j} = 0$ . Эти работы должны составлять хотя бы один полный путь от исходного до завершающего события сетевого графика.

Результаты расчета временных параметров сетевого графика, приведенного на рисунке 2.2.4, отражены в таблице 2.3.1.

**Таблица 2.3.1 – Результаты расчета временных параметров сетевого графика**

Код работ $i-j$	Продолжительность работ, дн. $t_{i-j}$	Ранние сроки		Поздние сроки		Резервы времени		Отметка критических работ
		начала работ $t_{i-j}^{pn}$	окончания работ $t_{i-j}^{po}$	начала работ $t_{i-j}^{nn}$	окончания работ $t_{i-j}^{no}$	общий $R_{i-j}$	частный $r_{i-j}$	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
1-2	10	0	10	0	10	0	0	+
1-5	3	0	6	17	23	17	14	
2-3	10	10	20	10	20	0	0	+
2-4	3	10	13	17	20	7	7	
3-4	0	20	20	20	20	0	0	+
3-5	0	20	20	23	23	3	0	
3-6	4	20	24	21	25	1	1	
4-6	5	20	25	20	25	0	0	+
5-6	2	20	22	23	25	3	3	

### **Задания для индивидуальной работы на практических занятиях по теме «Табличный метод расчета временных параметров сетевых графиков»**

Выполните табличным методом расчет временных параметров, используя сетевую модель, разработанную при выполнении практической работы **по теме 2.1 (задача 2)**.



## ЗАНЯТИЕ 2.4. ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ В МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

*Цель занятия: приобретение навыков построения сетевых графиков в масштабе времени и составления графиков движения рабочих.*

### 2.4.1. Построение сетевых графиков в масштабе времени

После расчета временных параметров сетевого графика возникает необходимость построения его в более наглядной и удобной для использования на любом уровне управления форме, то есть в масштабе времени. Это может быть выполнено двумя способами:

- 1) с сохранением сетевой модели;
- 2) путем перевода сетевого графика в линейный.

В первом случае график перечерчивают, располагая центры событий в строгом соответствии со сроками ранних начал соответствующих работ (левый сектор события). Второй способ используется реже, так как он менее нагляден.

Для построения сетевого графика в масштабе времени необходимо:

1. Определить календарное время начала работ. Оно устанавливается в соответствии с директивными сроками (в учебном процессе - по заданию преподавателя) и с учетом технологических требований к выполнению определенных видов работ.

2. Начертить календарную линейку, в которой указать рабочие дни в соответствии с общей продолжительностью работ по сетевому графику и календарные дни (без выходных и праздников).

3. Построить сетевой график, сохраняя топологию сети и располагая центр каждого события согласно сроку раннего начала соответствующей работы. Если несколько работ имеют одинаковые сроки раннего начала, то их начальные события должны располагаться на одном уровне по вертикали.

Пример построения сетевого графика в масштабе времени – см. **рисунок 2.5.2 (тема 2.5)**.

На графике, построенном в масштабе времени, длина проекции любой стрелки  $L_{i-j}$  на ось времени равна сумме продолжительности соответствующей работы (зависимости) и ее частного резерва, то есть  $L_{i-j} = t_{i-j} + r_{i-j}$ . Поэтому для работ, имеющих частные резервы времени, необходимо на стрелке выделить непосредственно продолжительность выполнения работы и частный резерв времени (например, частные резервы времени работ **Б** и **Ж** на **рисунке 2.5.2** выделены волнистой линией).

### 2.4.2. Построение графиков движения рабочих

После построения сетевого графика в масштабе времени составляют графики расхода различных видов ресурсов. Из-за большой номенклатуры ресурсов количество графиков ограничивают рассмотрением основных видов ресурсов. Одним из них являются трудовые ресурсы, для характеристики использования которых строят графики движения рабочих.

Для построения такого графика необходимо для каждого рабочего дня рассчитать общее количество рабочих, занятых на всех выполняемых в этот день работах. Целесообразно выделить интервалы времени, где сохраняется постоянный состав исполнителей на всех выполняемых работах, и расчет вести по интервалам. При суммировании количества рабочих необходимо учитывать сменность:

$$N_{\text{общ},k} = \sum N_{i-j,k}^{\text{раб}} \cdot n_{i-j}^{\text{см}}, \quad (2.4.1)$$

где  $N_{\text{общ},k}$  - общее количество рабочих, занятых в  $k$ -й день на всех работах сетевого графика, чел.;  $N_{i-j,k}^{\text{раб}}$  - количество рабочих, занятых в  $k$ -й день на работе  $i-j$ , чел.;  $n_{i-j}^{\text{см}}$  - количество смен, принятое при выполнении работы  $i-j$ .

На участках работ сетевого графика, где выделены частные резервы времени, при построении графика движения рабочих количество рабочих принимается равным нулю.

Пример построения графика движения рабочих – см. **рисунок 2.5.2 (тема 2.5)**.



Для анализа качества построенного сетевого графика с точки зрения использования трудовых ресурсов используется коэффициент неравномерности движения рабочих, определяемый отношением максимально потребного количества рабочих к среднему:

$$k_{нер} = N_{max} / N_{cp} \leq 1,5, \quad (2.4.2)$$

где  $k_{нер}$  - коэффициент неравномерности движения рабочих;  $N_{max}$  - максимальное количество рабочих по графику движения рабочих, чел.;  $N_{cp}$  - среднее количество рабочих, чел.

Сетевой график требует оптимизации по трудовым ресурсам, если коэффициент неравномерности движения рабочих превышает установленное значение (1,5).

Среднее количество рабочих определяется как отношение общей трудоемкости ( $Q_{общ}$ , чел.-дн.) к общей продолжительности выполнения работ по графику ( $t_{кр}$ , дн.):

$$N_{cp} = Q_{общ} / t_{кр}. \quad (2.4.3)$$

Трудоемкость выполнения работ определяется исходя из физических объемов работ и норм затрат труда.

При наличии сетевого графика общая трудоемкость ( $Q_{общ}$ , чел.-дн.) может быть рассчитана следующими способами:

1) как сумма произведений продолжительностей работ ( $t_{i-j}$ , дн.), количества смен ( $n_{i-j}^{см}$ ) и количества рабочих в смену на соответствующих работах ( $N_{i-j}^{раб}$ , чел.):

$$Q_{общ} = \sum t_{i-j} \cdot n_{i-j}^{см} \cdot N_{i-j}^{раб}; \quad (2.4.4)$$

2) как суммарная площадь графика движения рабочих по объекту.

Рассчитаем коэффициент неравномерности движения рабочих для графика, изображенного на рисунке 2.5.2 (тема 2.5):

$$Q_{общ} = \sum t_{i-j} \cdot n_{i-j}^{см} \cdot N_{i-j}^{раб} = 7 \cdot 1 \cdot 14 + 3 \cdot 1 \cdot 12 + 5 \cdot 1 \cdot 5 + 10 \cdot 2 \cdot 6 + 4 \cdot 1 \cdot 5 + 18 \cdot 1 \cdot 2 + 2 \cdot 2 \cdot 4 = 351 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

или

$$Q_{общ} = 16 \cdot 7 + 26 \cdot 3 + 14 \cdot 7 + 12 \cdot 1 + 18 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 5 \cdot 1 = 351 \text{ чел.} - \text{дн.} \quad (\text{как суммарная площадь графика движения рабочих});$$

$$t_{кр} = 22 \text{ дн.};$$

$$N_{cp} = Q_{общ} / t_{кр} = 351 / 22 = 16 \text{ чел.};$$

$$N_{max} = 26 \text{ чел.};$$

$$k_{нер} = N_{max} / N_{cp} = 26 / 16 = 1,625 > 1,5 - \text{требуется оптимизация данного сетевого графика по ресурсам.}$$

### Задания для индивидуальной работы на практических занятиях по теме «Построение сетевых графиков в масштабе времени»

Постройте в масштабе времени сетевой график, рассчитанный в ходе выполнения практического задания по теме 2.2, а также график движения рабочих. Рассчитайте коэффициент неравномерности движения рабочих и сделайте вывод о наличии (отсутствии) необходимости оптимизации сетевого графика по ресурсам.



## ЗАНЯТИЕ 2.5. ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ ПО ЗАДАНЫМ ОГРАНИЧЕНИЯМ ВО ВРЕМЕНИ И РЕСУРСАХ

**Цель занятия:** приобретение навыков оптимизации сетевых графиков с учетом заданных ограничений.

### 2.5.1. Оптимизация сетевых графиков по заданным ограничениям во времени

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

**Оптимизация сетевого графика по времени** имеет целью сокращение общей продолжительности выполнения работ по графику (длины критического пути  $t_{кр}$ ) до величины, обеспечивающей ввод объекта (выполнение комплекса работ) в установленные сроки.

Оптимизация сетевого графика по времени может осуществляться следующими путями:

- 1) перераспределением трудовых ресурсов внутри сети, то есть переводом бригад и звеньев с работ, имеющих резервы времени, на критические работы;
- 2) привлечением дополнительных трудовых ресурсов извне для выполнения критических работ;
- 3) пересмотром топологии сети: увеличением количества захваток, введением параллельных работ и т. п.;
- 4) применением более прогрессивных методов выполнения некоторых видов работ, обеспечивающих сокращение их продолжительности.

Рассмотрим порядок оптимизации сетевого графика по времени на примере графика, представленного **на рисунке 2.2.4 (тема 2.2)**.

Данный сетевой график необходимо оптимизировать так, чтобы общая продолжительность строительства не превышала  $T_{треб} = 22$  дня.

#### **Порядок оптимизации:**

1. Определяем величину  $\delta$ , на которую надо сократить продолжительность строительства:

$$\delta = T_{пл} - T_{треб} = 25 - 22 = 3 \text{ дн.}$$

2. Находим на графике (рисунок 2.2.4) все работы, у которых общий резерв времени меньше или равен  $\delta$ :  $R_{i-j} \leq \delta = 3$  дн.

К ним относятся:

- все критические работы (1-2, 2-3, 4-6);
- работы 3-6 ( $R_{3-6} = 1$ ), 5-6 ( $R_{5-6} = 3$ ).

3. Из приведенных выше работ составляем все возможные полные пути:

- 1-2-3-4-6 (критический путь);
- 1-2-3-5-6 (подкритический путь);
- 1-2-3-6 (подкритический путь).

Подкритический путь состоит из критических и подкритических работ. Подкритическими работами называются те работы, у которых  $R_{i-j} \leq \delta$ .

4. Находим критические работы, общие для всех критических и подкритических путей. Это работы 1-2 и 2-3.

Изменив продолжительность одной из этих работ на величину  $\delta$ , мы достигнем желаемого результата. Можно сократить продолжительность нескольких таких работ на величину  $\sum \delta_i = \delta$ .

5. Уменьшим продолжительность работы 1-2 на величину  $\delta$ :

$$t'_{1-2} = t_{1-2} - \delta = 10 - 3 = 7 \text{ дн.}$$

6. Определим новое количество исполнителей для работы 1-2, исходя из того, что затраты труда на выполнение работы ( $Q_{1-2}$ ) являются постоянной величиной:

$$N_{1-2}^i = \frac{Q_{1-2}}{t_{1-2}^i \cdot n_{1-2}^{cmi}} = \frac{t_{1-2} \cdot n_{1-2}^{cm} \cdot N_{1-2}}{t_{1-2}^i \cdot n_{1-2}^{cmi}} = \frac{10 \cdot 1 \cdot 10}{7 \cdot 1} = 14 \text{ чел.}$$

Для выполнения данной работы следует дополнительно привлечь трудовые ресурсы в количестве:

$$\Delta N_{1-2} = N_{1-2}^i - N_{1-2} = 14 - 10 = 4 \text{ чел.}$$

Необходимые ресурсы могут быть сняты с однородных по технологии работ, имеющих частные резервы времени, или привлечены дополнительно.

7. Рассмотрим случай, когда мы привлекаем трудовые ресурсы с работы 1-5, которая выполняется параллельно работе 1-2 и имеет большой резерв времени (перераспределяем трудовые ресурсы внутри сети). Чтобы не изменились ранние начала работ, следующих за работой 1-5, следует осуществлять корректировку в пределах ее частного резерва времени  $r_{1-5} = 14$  дн.

Если мы переведем рабочих с работы 1-5 на работу 1-2, то на работе 1-5 останется

$$N_{1-5}^i = N_{1-5} - \Delta N_{1-2} = 6 - 4 = 2 \text{ чел.}$$

Определим время, за которое они выполняют работу 1-5:

$$t_{1-5}^i = \frac{Q_{1-5}}{n_{1-5}^{cmi} \cdot N_{1-5}^i} = \frac{t_{1-5} \cdot n_{1-5}^{cm} \cdot N_{1-5}}{n_{1-5}^{cmi} \cdot N_{1-5}^i} = \frac{6 \cdot 1 \cdot 6}{1 \cdot 2} = 18 \text{ дн.},$$

$$\text{т.е. } \Delta t_{1-5} = t_{1-5}^i - t_{1-5} = 18 - 6 = 12 \text{ дн.} < r_{1-5} = 14 \text{ дн.}$$

8. Пересчитаем временные параметры сетевого графика с учетом измененных характеристик работ 1-2 и 1-5, чтобы убедиться, что цель оптимизации достигнута. Оптимизированный сетевой график изображен на рисунке 2.5.1.

На рисунке 2.5.2 представлен данный сетевой график, построенный в масштабе времени, а также соответствующий график движения рабочих.

Коэффициент неравномерности движения рабочих составляет  $k_{нор} = 1,625$  (расчет представлен в п. 2.4.2, тема 2.4).

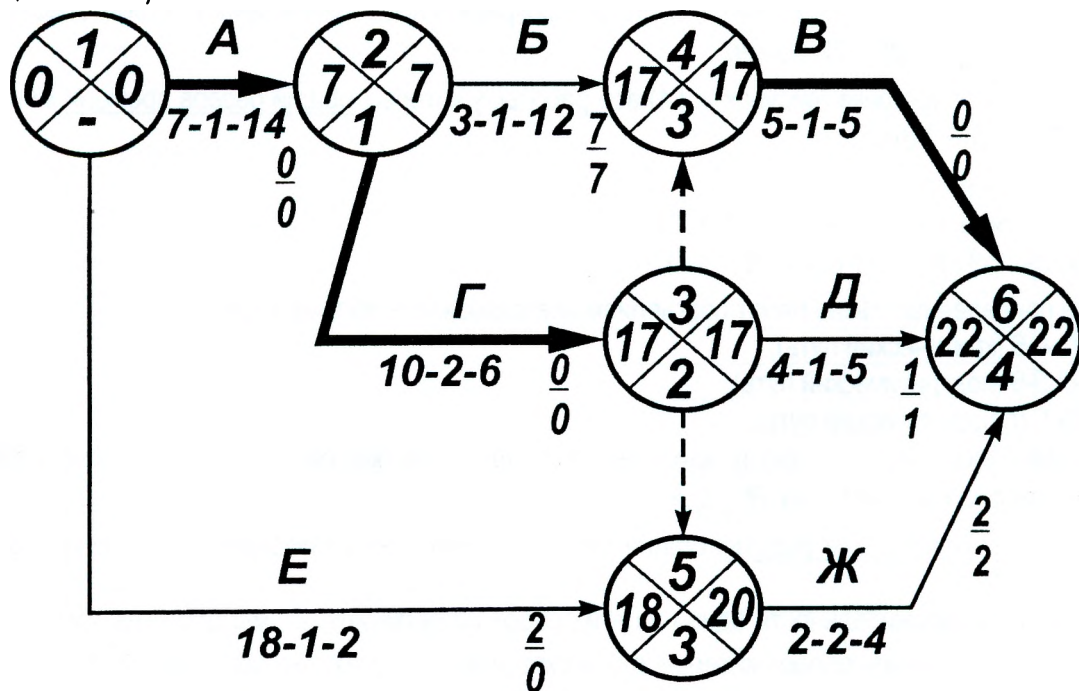


Рисунок 2.5.1 – Результат оптимизации сетевого графика по заданным ограничениям во времени



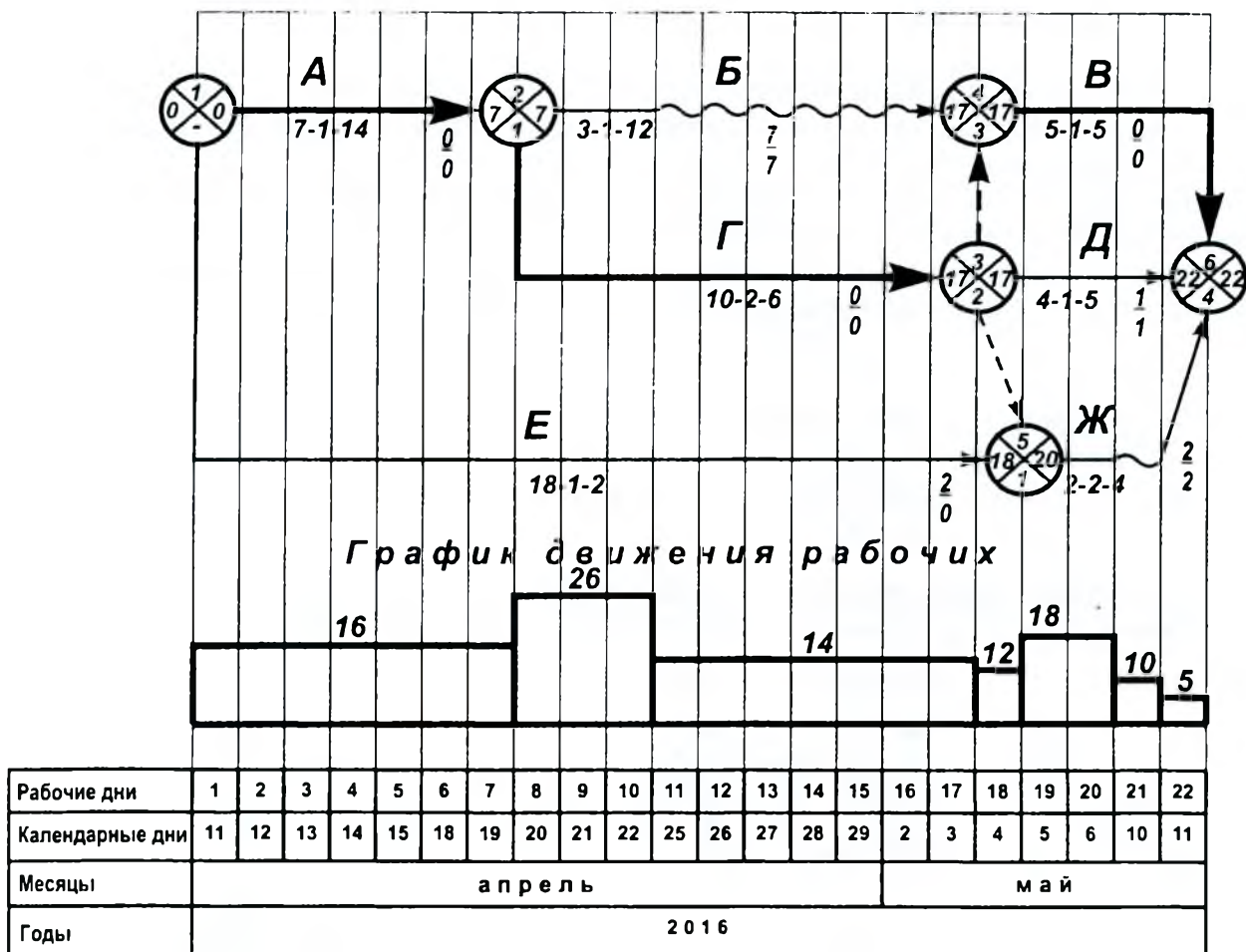


Рисунок 2.5.2 – Построение сетевого графика в масштабе времени и графика движения рабочих (к рисунку 2.5.1)

### 2.5.2. Оптимизация сетевых графиков по заданным ограничениям в ресурсах

Оптимизация сетевых графиков по ресурсам представляет собой сложный процесс из-за большой номенклатуры работ и большой номенклатуры ресурсов, требуемых для их выполнения.

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

- 1) необходимо сохранить постоянный состав бригад исполнителей при переходе с захватки на захватку с учетом требований поточного метода организации строительства;
- 2) необходимо равномерно распределить трудовые ресурсы по периодам строительства;
- 3) необходимо минимизировать требуемое количество рабочих в пределах имеющихся резервов времени, чтобы коэффициент неравномерности движения рабочих не превышал **1,5**.

Рассмотрим оптимизацию сетевого графика по заданным ограничением в ресурсах на примере сетевого графика, представленного **на рисунках 2.5.1, 2.5.2**.

Требуется определить, сможет ли бригада рабочих численностью 18 чел. ( $N'_{\max} = 18 \text{ чел.}$ ) выполнить весь комплекс работ без увеличения продолжительности строительства.

#### Порядок оптимизации:

1. Находим интервал времени, где количество рабочих по графику превышает заданную численность бригады. Это интервал **8-10 дн.**, численность рабочих – **26 чел.**

2. В данном интервале времени выполняются следующие работы:

2-4  $R_{2-4} = 7$ ;  $r_{2-4} = 7$ ;

2-3  $R_{2-3} = 0$ ;  $r_{2-3} = 0$  - критическая работа;

1-5  $R_{1-5} = 2$ ;  $r_{1-5} = 0$ .

3. Оптимизация сетевого графика по трудовым ресурсам может быть выполнена следующими способами:

- переносом начала работы на более поздний срок в пределах ее частного резерва;
- увеличением продолжительности выполнения работы на величину ее частного резерва;
- одновременным использованием первых двух способов.

При корректировке сетевых графиков с использованием частных резервов времени не требуется выполнять пересчет временных параметров.

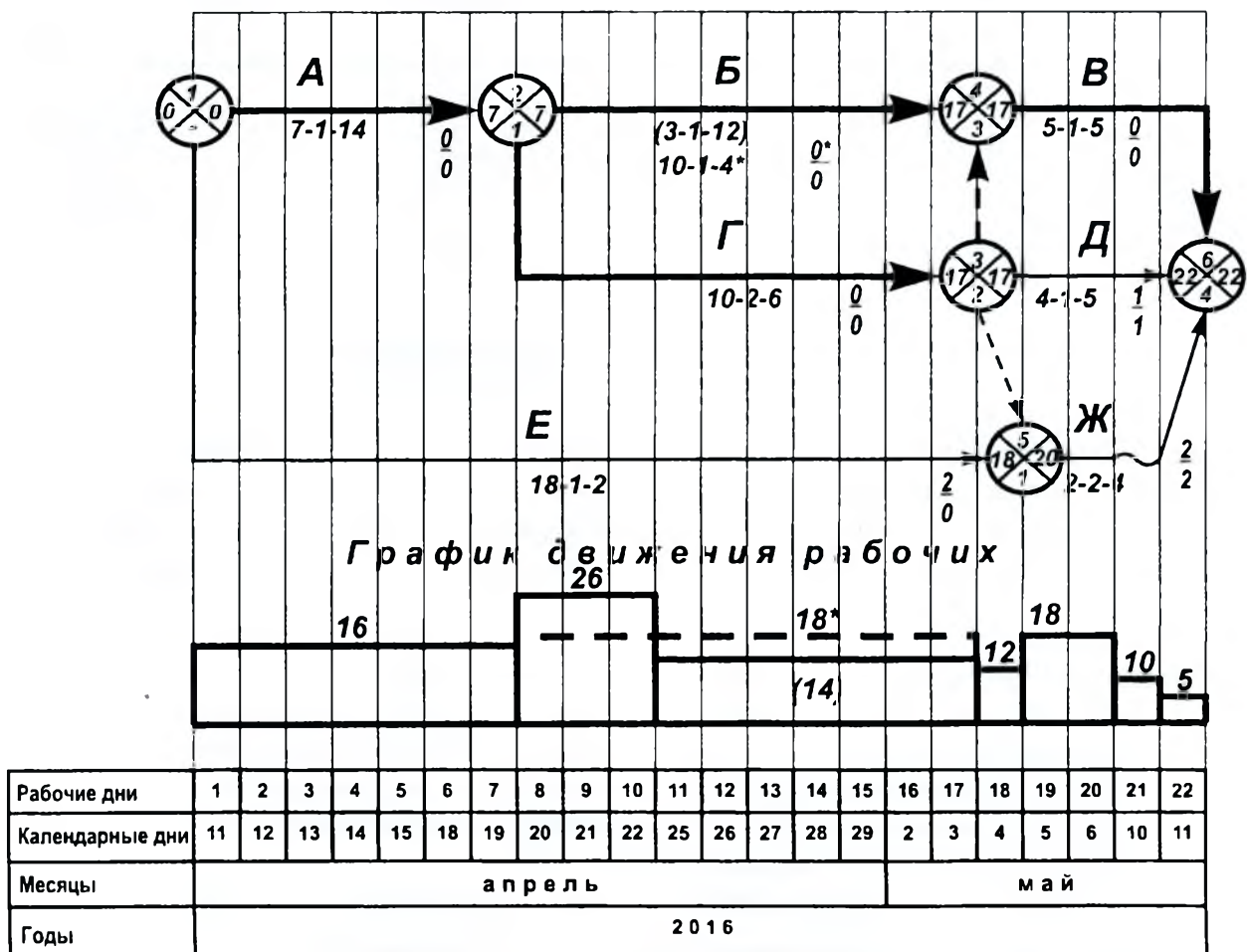
Частный резерв времени в рассматриваемом интервале времени **8-10 дн.** имеет только работа 2-4. Увеличим продолжительность работы 2-4 на величину ее частного резерва:

$$t'_{2-4} = t_{2-4} + r_{2-4} = 3 + 7 = 10 \text{ дн.}$$

Новое количество исполнителей для работы 2-4:

$$N'_{2-4} = \frac{Q_{2-4}}{t'_{2-4} \cdot n_{2-4}^{CM'}} = \frac{t_{2-4} \cdot n_{2-4}^{CM} \cdot N_{2-4}}{t'_{2-4} \cdot n_{2-4}^{CM'}} = \frac{3 \cdot 1 \cdot 12}{10 \cdot 1} = 4 \text{ чел.}$$

4. Проверяем общую численность рабочих в интервале **8-10 дн.** Общее количество рабочих после оптимизации сетевого графика не превышает **18 чел.** (см. рисунок 2.5.3).



**Рисунок 2.5.3 – Результат оптимизации сетевого графика по заданным ограничениям в ресурсах** (показатели после оптимизации по ресурсам отмечены знаком «\*»)

5. Определяем значение коэффициента неравномерности движения рабочих после оптимизации:

$$N_{cp} = 16 \text{ чел. (см. п. 2.4.2); } N_{max} = 18 \text{ чел. ;}$$

$$k_{нер} = N_{max} / N_{cp} = 18 / 16 = 1,125 < 1,5 .$$

**Задания для индивидуальной работы на практических занятиях по темам  
«Оптимизация сетевых графиков по заданным ограничениям  
во времени и ресурсах»**

**Задача 1.** Выполните оптимизацию сетевого графика, ранее рассчитанного и построенного в масштабе времени в ходе практических занятий **по темам 2.2 и 2.4**, в соответствии с заданными преподавателем ограничениями во времени или в ресурсах.

**Задача 2.** Выполните задание в соответствии с исходными данными, представленными в **таблице 2.5.1**. Расчет временных параметров исходного сетевого графика рекомендуется выполнить секторным методом непосредственно в таблице 2.5.1.

По заданию преподавателя выполняется **задача 1 или задача 2**. Результат оптимизации должен быть проиллюстрирован наглядно: следует пояснить действия по оптимизации, рассчитать временные параметры оптимизированного графика, построить в масштабе времени оптимизированный график и график движения рабочих.

**Таблица 2.5.1 – Исходные данные к задаче 2 по теме «Оптимизация сетевых графиков по заданным ограничениям во времени и в ресурсах»**

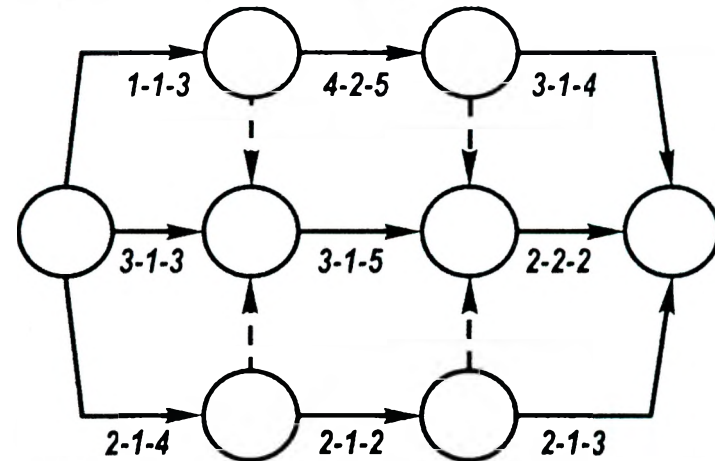
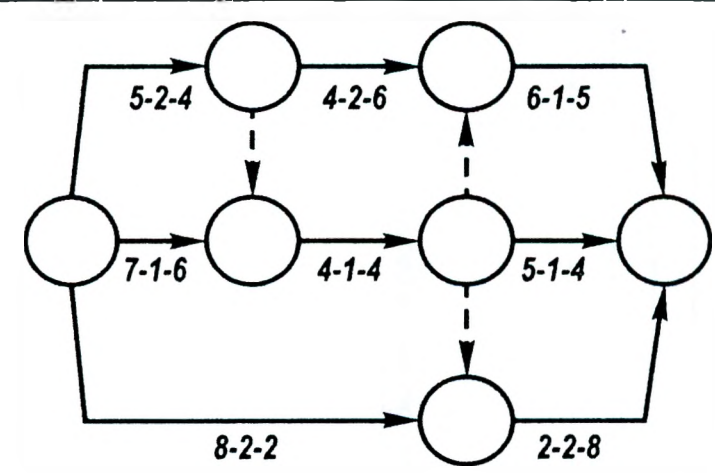
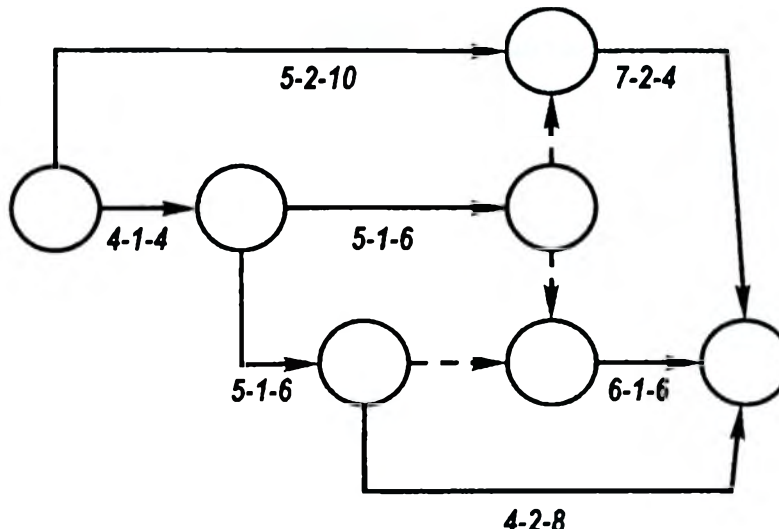
Вариант	Условие задачи 2	Исходная сетевая модель
1	<p>Рассчитать временные параметры сетевого графика. Построить сетевой график в масштабе времени, а также график движения рабочих. Рассчитать <math>k_{нор}</math>.</p> <p>Оптимизировать до <math>T = 21</math> дн. с соблюдением условия <math>k_{нор} \leq 1,5</math></p>	
2	<p>Рассчитать временные параметры сетевого графика. Построить сетевой график в масштабе времени, а также график движения рабочих. Рассчитать <math>k_{нор}</math>.</p> <p>Оптимизировать до <math>N_{max} = 27</math> чел.</p>	

Продолжение таблицы 2.5.1

1	2	3
3	<p>Рассчитать временные параметры сетевого графика.                      Оптимизировать до <math>T = 18</math> дн.                      Построить сетевой график в масштабе времени, а также график движения рабочих. Рассчитать <math>k_{пер}</math>.</p>	
4	<p>Рассчитать временные параметры сетевого графика. Оптимизировать до <math>T = 9</math> дн. Построить сетевой график в масштабе времени, а также график движения рабочих. Рассчитать <math>k_{пер}</math>.</p>	
5	<p>Рассчитать временные параметры сетевого графика. Оптимизировать график, сократив продолжительность на <math>\delta = 2</math> дня. Построить сетевой график в масштабе времени, график движения рабочих, рассчитать <math>k_{пер}</math>.</p>	
6	<p>Рассчитать временные параметры сетевого графика. Оптимизировать график, сократив продолжительность на <math>\delta = 2</math> дня. Построить сетевой график в масштабе времени, график движения рабочих, рассчитать <math>k_{пер}</math>.</p>	



Продолжение таблицы 2.5.1

1	2	3
7	<p>Рассчитать временные параметры сетевого графика. Оптимизировать график, сократив продолжительность на <math>\delta=1</math> день. Построить сетевой график в масштабе времени, график движения рабочих, рассчитать <math>k_{пер}</math>.</p>	
8	<p>Рассчитать временные параметры сетевого графика. Построить сетевой график в масштабе времени, график движения рабочих, рассчитать <math>k_{пер}</math>. Проверить, сможет ли бригада численностью <math>N_{max}=20</math> чел. выполнить весь комплекс работ без увеличения продолжительности строительства</p>	
9	<p>Рассчитать временные параметры сетевого графика. Построить сетевой график в масштабе времени, график движения рабочих, рассчитать <math>k_{пер}</math>. Проверить, сможет ли бригада численностью <math>N_{max}=24</math> чел. выполнить весь комплекс работ без увеличения продолжительности строительства</p>	

**Описание действий по оптимизации (занятие 2.5, задача 1 или 2)**

**Расчет временных параметров оптимизированного сетевого графика**

**Исходный сетевой график (занятие 2.5, задача 2)    Вариант \_\_\_\_\_**

	<b>График движения рабочих</b>																													
<b>Рабочие дни</b>																														
<b>Календ. дни</b>																														
<b>Месяцы</b>																														
<b>Годы</b>																														





## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Дикман, Л.Г. Организация строительного производства: учеб. для строительных вузов / Л.Г. Дикман. – Изд. 6-е, перераб. и доп. - М.: АСВ, 2012. - 587 с.
- 2 Кирнев, А.Д. Организация в строительстве. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие / А.Д. Кирнев. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Лань, 2012. – 528 с.
- 3 Методический практикум для выполнения лабораторных и практических занятий по дисциплине «Организация строительного производства» для студентов строительных специальностей дневной и заочной форм обучения. Часть 1 / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Кафедра экономики и организации строительства; сост. Г.А. Бояринцев, Л.А. Драган. – Брест: БрГТУ, 2007. - 37 с.
- 4 Организация, планирование и управление строительным производством: учеб. для вузов / П.Г. Грабовый [и др.]; под общ. ред. П.Г. Грабового. – Липецк : ООО «Информ», 2006. – 304 с.
- 5 Организация строительного производства: учеб. для вузов / Т.Н. Цай [и др.]; под общ. ред. Т.Н. Цая и П.Г. Грабового – М. : Издательство АСВ, 1999. – 432 с.
- 6 Серов, В.М. Организация и управление в строительстве: учеб. пос. для вузов / В.М. Серов, Н.А. Нестерова, А.В. Серов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.
- 7 Трушкевич, А.И. Организация строительного производства: учеб. для вузов / А.И. Трушкевич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Выш. шк., 2011. – 479 с.
- 8 Ширшиков, Б.Ф. Организация, планирование и управление строительством : учеб. для вузов / Б.Ф. Ширшиков. – М. : АСВ, 2012. – 528 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ТЕМА 1. ОСНОВЫ ПОТОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА</b> .....	3
ЗАНЯТИЕ 1.1. РАСЧЕТ РАВНОРИТМИЧНОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОТОКА.....	3
ЗАНЯТИЕ 1.2. РАСЧЕТ КРАТНОРИТМИЧНОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОТОКА.....	11
ЗАНЯТИЕ 1.3. РАСЧЕТ НЕРИТМИЧНОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОТОКА .....	19
<b>ТЕМА 2. ОСНОВЫ СЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ</b> .....	27
ЗАНЯТИЕ 2.1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ.....	27
ЗАНЯТИЕ 2.2. СЕКТОРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ.....	38
ЗАНЯТИЕ 2.3. ТАБЛИЧНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ.....	41
ЗАНЯТИЕ 2.4. ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ В МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ .....	44
ЗАНЯТИЕ 2.5. ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ ПО ЗАДАНЫМ ОГРАНИЧЕНИЯМ ВО ВРЕМЕНИ И РЕСУРСАХ .....	47
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	58

Учебное издание

**Составители:**

*Елена Ивановна Кисель  
Людмила Геннадьевна Срывкина*

**РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ**  
**для выполнения практических работ**  
**по дисциплине «Организация и управление в строительстве»**  
**для студентов строительных специальностей**  
**I и II ступеней высшего образования**  
**дневной и заочной форм обучения**  
**и слушателей ИПК и П.**  
**ЧАСТЬ 1.**  
***Основы поточной организации строительства.***  
***Основы сетевого моделирования в строительстве***

Ответственный за выпуск: Кисель Е.И.  
Редактор: Боровикова Е.А.  
Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.  
Корректор: Никитчик Е.В.

---

Стереотипное издание.

Подписано в печать 21.12.2016 г. Формат 60x84 1/8. Бумага «Performer».  
Гарнитура «Arial Narrow». Усл. печ. л. 7,0. Уч. изд. л. 7,5. Заказ № 872. Тираж 153 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.