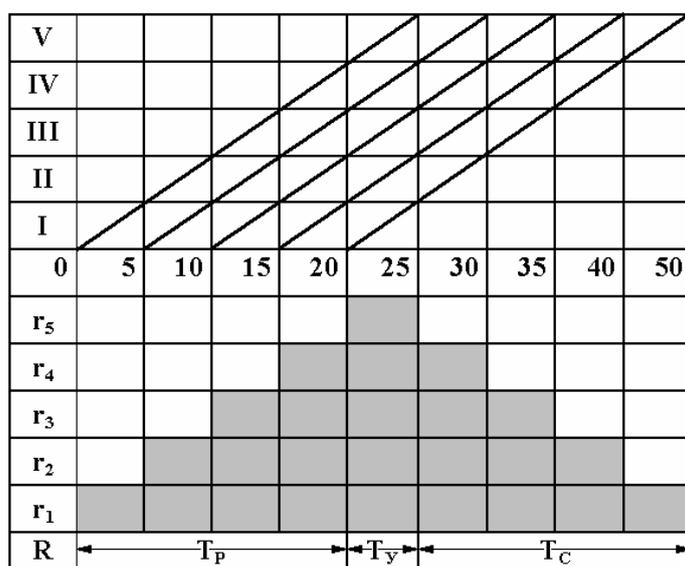


Кафедра технологии, организации и экономики строительства

## КАЛЕНДАРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА



Методические указания  
 по выполнению расчетно-графических работ  
 для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство»  
 очной формы обучения

УДК 69.003 : 658.012(07)

ББК 38.2

К 17

*Составители:* сотрудники кафедры технологии, организации и экономики строительства Костромской ГСХА к.т.н., доцент Ю.Ю. Дубровина, к.т.н., зав. кафедрой С.В. Цыбакин.

*Рецензент:* начальник технического отдела Московского государственного строительного университета д.э.н., профессор кафедры технологии, организации и управления строительством С.Б. Сборщиков.

*Рекомендовано к изданию методической комиссией  
архитектурно-строительного факультета,  
протокол № 4 от 13 апреля 2015 г.*

К 17      **Календарное планирование проектирования и строительства :**  
методические указания по выполнению расчетно-графических работ  
для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство» оч-  
ной формы обучения / сост. Ю.Ю. Дубровина, С.В. Цыбакин. — Кара-  
ваево : Костромская ГСХА, 2015. — 62 с.

Методические указания предназначены для аудиторной и самостоятельной работы, для выполнения расчётно-графических и контрольных работ студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство» очной формы обучения, а также может быть применено для курсового и дипломного проектирования по другим дисциплинам кафедры технологии, организации и экономики строительства для студентов направления 08.03.01 «Строительство».

УДК 69.003 : 658.012(07)

ББК 38.2

## СОДЕРЖАНИЕ:

	Введение	4
1.	Организационно-технологические модели строительного производства	5
2.	Сущность поточной организации строительного производства	7
3.	Основные принципы проектирования потоков	8
4.	Классификация строительных потоков	9
5.	Пространственные, технологические и временные параметры потоков	12
6.	Основные закономерности, технологическая увязка и расчет параметров строительных потоков	13
7.	Расчет параметров равномерного потока. Расчет с использованием матриц. График Г.Л. Ганта, циклограмма М.С. Будникова, диаграмма ресурсов	16
8.	Расчет параметров разноритмического (кратноритмического) потока. График Г.Л. Ганта, циклограмма М.С. Будникова, диаграмма ресурсов. Расчет с использованием матриц	19
9.	Расчет параметров неритмичных потоков с однородным изменением ритма. График Г.Л. Ганта, циклограмма М.С. Будникова, диаграмма ресурсов. Расчет с использованием матриц	22
10.	Расчет параметров неритмичных потоков с неоднородным изменением ритма. График Г.Л. Ганта, циклограмма М.С. Будникова, диаграмма ресурсов. Расчет с использованием матриц	24
11.	Потоки при строительстве линейно-протяженных сооружений	28
	Контрольные вопросы	29
12.	Сетевые модели и сетевые графики. Достоинства и недостатки	30
13.	Классификация сетевых моделей и элементы сетевых графиков	31
14.	Правила построения сетевых графиков. Способы расчета сетевых графиков. Построение сетевых графиков в масштабе времени	33
15.	Способы построения сетевых графиков	36
16.	Способы расчета сетевых графиков	36
17.	Сетевые графики типа «Вершины-Работы»	47
18.	Виды корректировок сетевых графиков	49
19.	Виды сетевых графиков в составе ПОС и ППР. Порядок разработки и этапы применения сетевых графиков	55
	Контрольные вопросы	57
	Список рекомендуемой литературы	58
	Варианты заданий для выполнения расчетно-графических работ	59
	Пример оформления титульного листа РГР	62

## **ВВЕДЕНИЕ**

Приобретение навыков проектирования и построения различных графических моделей строительного производства может быть получено при решении задач, связанных с расчетом строительных потоков и сетевых графиков. Данные модели помогают студенту научиться ориентироваться в календарном планировании строительства, составлять, сопутствующие календарным планам, графики, производить оценку запланированных потоков.

Методические указания составлены в соответствии с требованиями рабочей программы дисциплины, утвержденной на заседании кафедры «Технология, организация и экономика строительства» и методической комиссии архитектурно-строительного факультета.

Данное издание содержит примеры решения задач по расчету строительных потоков и сетевых графиков, варианты заданий для выполнения расчетно-графических работ и контрольные вопросы.

Целью настоящих методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении расчетно-графических работ, при подготовке к практическим занятиям и повторении пройденного материала.

## 1. Организационно-технологические модели строительного производства

Для любой задачи управления характерна множественность ее решений. Кроме того, постоянное усложнение процесса управления делают выбор оптимального решения чрезвычайно трудным.

Выход из этого положения при решении многих проблем управления строительным производством, представляющим собой сложную организационно-технологическую систему, состоит в применении экономико-математических методов и вычислительной техники в основных сферах управления строительством, представленных в виде моделей.

Модель - это упрощенное абстрактное отображение наиболее существенных характеристик, процессов и взаимосвязей реальных систем или аналог, условный образ какого-либо сложного объекта, сконструированный для упрощения его исследования.

Модель содержит и порождает информацию, адекватную информации моделируемого объекта (оригинала). Понятие модели связано с определенным сходством между двумя объектами. Кроме этого, модель должна удовлетворять ряду требований:

1. адекватность (соответствие);
2. отражение лишь существенных связей;
3. наглядность;
4. простота, т.е. понятность используемого языка и не слишком большая сложность.

Процесс исследования на моделях, должным образом представляющих изучаемую систему, называется моделированием.

**Моделирование строительного производства** - исследование строительных процессов путем построения и изучения их моделей, являющихся упрощенным представлением о некотором объекте, более удобном для восприятия, чем сам объект.

Различают два вида моделей:

1). физические	2). символические (абстрактные)
- представляют собой некоторую материальную систему, которая отличается от моделируемого объекта размерами, материалами и т.п. Физическая модель может быть масштабной (М 1:□□□) или аналоговой, построенной на основании того или иного физического процесса, протекающего в моделируемом явлении.	- создаются с помощью языковых, графических, математических средств описания и абстрагирования.

Математические модели нашли наибольшее использование в управлении благодаря их свойству - возможности использования в разных, на первый взгляд совершенно несхожих ситуациях. Приняты и используются следующие группировки математических моделей в зависимости от характера математических зависимостей:

а) *линейные*, когда все зависимости связаны линейными соотношениями, и *нелинейные* при наличии хотя бы частично нелинейных соотношений;

б) *детерминированные*, в которых учитываются только усредненные значения параметров, и *вероятностные* (статистические, стохастические), предусматривающие случайный характер тех или иных параметров и процессов;

в) *статические*, фиксирующие только один период времени, и *динамические*, в которых рассматриваются и рассчитываются параметры по различным периодам, этапам;

г) *оптимизационные*, в которых выбор элементов и самого процесса осуществляется с учетом экстремизации целевой функции, и *не оптимизационные* с заранее данным объемом выпуска, производства;

д) *с высоким уровнем детализации*, когда модель отображает многие факторы процесса или включает в себя большое число элементарных составляющих, и агрегированные укрупненные модели, где объединяются многие параметры, близкие по назначению.

В каждой модели возможны различные сочетания этих признаков с определенным приоритетом одного из них.

Строительный процесс и вид работы могут быть представлены в виде мысленной описательной или графической модели.

До настоящего времени в качестве основных графических моделей строительного производства служат *календарные линейные графики* Г.Л. Ганта, на которых в масштабах времени показывают последовательность и сроки выполнения работ. С помощью линейных графиков удается наглядно отобразить однозначную взаимосвязь и последовательность работ. Однако при сложных зависимостях между работами такие графики мало эффективны.

Применяемые реже *циклограммы* М.С. Будникова отражают ход работ в виде наклонных линий в системе координат и являются, по существу разновидностью линейного графика. На циклограмме наглядно изображается развитие строительного процесса во времени и пространстве. Она наиболее удобна при планировании возведения однотипных зданий и сооружений. При этом за единицу продукции чаще всего принимается участок или захватка (для многоэтажных жилых домов - типовая секция в пределах одного этажа). При возведении крупных промышленных комплексов, отличающихся сложными взаимосвязями работ, наглядность циклограммы существенно снижается, и пользоваться ею неудобно.

Линейный график не может отобразить сложность моделируемого в нем процесса, модель не адекватна оригиналу. Отсюда основные недостатки линейных графиков: 1) отсутствие наглядно обозначенных взаимосвязей между отдельными операциями (работами); зависимость работ, положенная в основу графика, выявляется один раз в процессе составления и не изменяется; 2) негибкость, жесткость структуры линейного графика, сложность его корректировки при изменении условий; необходимость многократного пересоставления; 3) сложность вариантной проработки и ограниченная возможность прогнозирования хода работ; 4) сложность применения современных математических методов и ЭВМ для механизации расчетов параметров графиков. Все перечислен-

ные недостатки снижают эффективность процесса управления при использовании линейных графиков.

При использовании *матричных моделей* можно легко определить продолжительность выполнения работ каждой бригадой, общую продолжительность строительства, технологические и организационные перерывы, уровень совмещения работ.

## 2. Сущность поточной организации строительного производства

Современное строительное производство развивается на принципах поточности в промышленности, т.е. непрерывности и равномерности. Строительный поток является важнейшим и обязательным элементом *индустриализации*, без осуществления которого невозможно использовать в полной мере преимущества строительства из сборных элементов, изготовленных на заводах стройиндустрии. *Индустриализация строительства* заключается в развитии и совершенствовании строительного производства на основе применения современных средств механизации и автоматизации строительных процессов, превращении строительного производства в механизированный поточный процесс возведения зданий и сооружений.

*Поточным методом* называют такой метод организации строительства, который обеспечивает высокую организацию технологического процесса строительства, планомерный, ритмичный выпуск готовой строительной продукции (законченных зданий и сооружений, видов работ и т.д.) на основе непрерывной и равномерной работы трудовых коллективов (бригад, потоков) неизменного состава, снабженных своевременной и комплексной поставкой всех необходимых материально-технических ресурсов при ликвидации потерь времени, труда и ресурсов.

Непоточные методы встречаются при неритмичном выпуске строительной продукции, характеризующемся выпуском продукции через неопределенные или различные периоды времени и в разных количествах.

В основу поточной организации положена: типизация объектов, принцип индустриального производства строительных материалов и изделий и сохранение в строительных организациях бригад высокого уровня постоянного количественного и качественного состава.

При организации потока в строительстве сложный строительный процесс разделяется на несколько более простых процессов или операций. Выполнение каждого простого процесса поручается отдельной специализированной бригаде или звену. Весь фронт работ разделяется на несколько участков (захваток). Бригады (или звенья), сохраняя свой неизменный состав, равномерно передвигаются по общему фронту работ, переходя с одной захватки на другую. Первая бригада все время выполняет первый по технологическому порядку процесс, последняя - после своей работы оставляет законченный производством участок.

Область применения поточного метода очень широка: этим методом могут выполняться отдельные строительные процессы (поточно-расчлененный метод), осуществляется возведение отдельных зданий (поток на отдельных объек-

тах) и строительство целого комплекса объектов (поток на строительстве жилых массивов или промышленных предприятий).

### 3. Основные принципы проектирования потоков

**Основным принципом** поточного метода в строительстве является полное использование производственной мощности строительной организации при равномерной и непрерывной загрузке низовых строительных подразделений (строительных участков, бригад, звеньев и отдельных рабочих).

Для поточной организации строительного производства характерны следующие принципы:

- 1). Расчленение работы на составляющие процессы в соответствии со специализацией и квалификацией исполнителей;
- 2). Расчленение фронта работ на отдельные участки для создания наиболее благоприятных условий работ отдельным исполнителям;
- 3). Максимальное совмещение работ во времени.

Задачами проектирования строительного потока является определение таких параметров потока, которые с учетом рациональной технологии и организации работ по всем объектам обеспечивают строительство объектов в пределах нормативной продолжительности, непрерывную загрузку ресурсов (бригад, машин, механизмов, материалов и конструкций) и непрерывность ведения строительного-монтажных работ по каждому объекту.

Основной задачей расчета потока является сокращение продолжительности строительства, которое обеспечило бы наиболее производительное использование рабочих и механизмов за счет насыщения фронта работ оптимальным количеством ресурсов. При этом все расчеты должны базироваться на реальном количестве ресурсов, которые могут быть выделены соответствующими строительными организациями для выполнения объема работ по потоку.

Проектирование строительного потока осуществляют на основе данных об объемно-планировочных и конструктивных решениях объектов, подлежащих включению в поток, путем группировки однотипных зданий или частей по каждому типу здания с учетом специализации и численности бригад, машин и механизмов, которые могут выполнять данные виды и объемы работ.

Используя основные принципы поточной организации промышленного производства и учитывая особенности строительного производства, разработаны следующие принципы и последовательность проектирования потока для возведения однородных объектов строительства:

# выявление объектов, близких между собой по объемно-планировочным и конструктивным решениям, технологии их возведения, подлежащих строительству поточным методом;

# расчленение процесса возведения объектов на отдельные работы, желательно равные или кратные по трудоемкости;

# установление целесообразной последовательности выполнения работ и соединение взаимосвязанных работ в общий совокупный процесс и их синхронизацию, чем достигается непрерывность строительного производства;

# установление последовательности включения в поток строительства отдельных объектов, закрепление процессов за определенными бригадами рабочих, установление движения бригад на отдельных объектах по ходу технологического процесса и с объекта на объект, согласно принятой последовательности и с минимальными (холостыми) переходами;

# оснащение бригад рабочих строительными машинами, инструментом, приспособлениями, для обеспечения высокопроизводительного выполнения закрепленных за бригадами процессов;

# расчет основных параметров потока с учетом обеспечения одновременности (совмещения) выполнения большинства работ и согласованности между продолжительностью выполнения отдельных видов работ и числом ведущих машин и рабочих бригад;

# проектирование последовательности перебазирования ведущих строительных бригад рабочих и машин с объекта на объект с учетом соблюдения заданного ритма производства.

По каждой группе однотипных зданий устанавливают технологическую последовательность работ и определяют рациональные размеры захваток (участков) и их количество.

*Захватка - это часть здания или сооружения, объемы работ по которой выполняются бригадой (звеном) постоянного состава с определенным ритмом, обеспечивающим поточную организацию строительства объекта в целом.*

Размеры захваток зависят от объемно-планировочной и конструктивной структуры объекта, состава оборудования, а также от направления развития специализированных потоков, состава выполняемых ими работ и их мощности (производительности). В качестве захваток принимают повторяющиеся пролеты, секции, этажи, этажи-секции, конструктивные объемы по определенной группе осей, рядов и отметок здания. Разбивку здания на захватки производят с учетом обеспечения необходимой устойчивости и пространственной жесткости несущих конструкций в условиях их самостоятельной работы в пределах захватки. Необходимо стремиться к тому, чтобы границы захваток совпадали с конструктивным членением здания - температурными и осадочными швами, что обеспечивает возможность прекращения или возобновления работы без нарушения технических условий.

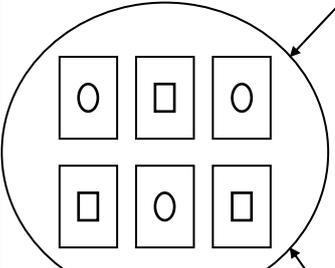
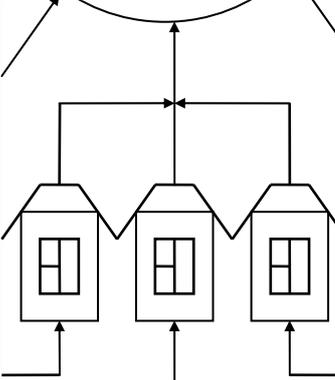
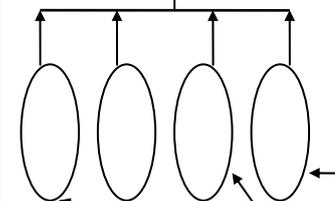
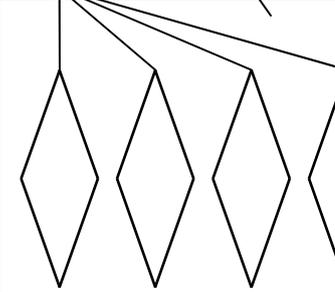
#### **4. Классификация строительных потоков**

Строительные потоки классифицируются по наиболее общим признакам.

*По структуре и виду продукции* строительные потоки подразделяют на частные, специализированные, объектные и комплексные (табл. 1).

Таблица 1.

Классификация строительных потоков по структуре и виду строительной продукции

Вид потока	Состав	Определение	Характер продукции
Комплексный		- совокупность организационно связанных объектных потоков, совместной продукцией которых являются промышленные предприятия, жилые массивы.	Законченные комплексы зданий (сооружений): промышленное предприятие, жилой массив (микрорайон)
Объектный		- совокупность технологически и организационно связанных специализированных потоков, состав которых обеспечивает выполнение всего комплекса работ по сооружению соответствующего объекта строительства.	Законченные объекты: промышленное или жилое здание или сооружение
Специализированный		- совокупность технологически связанных частных потоков, объединенных единой системой параметров и схемой потока.	Законченные виды работ, конструктивные элементы, этапы работ
Частный		- элементарный поток, представляющий собой один или несколько процессов, выполняемых одним коллективом (бригадой, звеном) на частных фронтах работ.	Законченные виды или элементы работ, вспомогательные работы

Частные и специализированные потоки могут иметь различные *направления развития*, которые зависят от объемно-планировочного и конструктивного решения здания, видов выполняемых работ и их этапов, используемых строительных машин и механизмов (рис. 1).

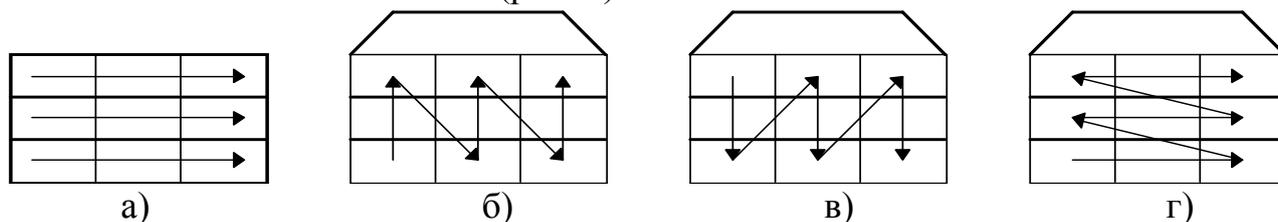


Рис. 1. Направления развития строительных потоков.

При этом потоки одноэтажных промышленных зданий, а также потоки нулевого цикла и устройства кровли, имеют *горизонтальное направление* (а), потоки по возведению коробки многоэтажного здания - *вертикально-восходящим* (б) или *вертикально-нисходящим* (в), а при возведении многоэтажных зданий из нескольких секций - *комбинированное (смешанное)* (г) направление развития потока.

По *характеру временного развития (ритмичности)* различают следующие виды потоков:

≅ *равноритмичный (ритмичный)* - в котором все составляющие потока имеют единый ритм, т.е. одинаковую продолжительность выполнения работ каждой отдельным исполнителем (звеном, бригадой, участком) на всех фронтах работ (частных, специализированных и т.д.);

≅ *разноритмичный* - в котором все составляющие его потоки имеют одинаковые ритмы однотипных работ и различные ритмы разнотипных (его разновидность - *кратноритмичный* - в котором все составляющие потоки имеют не равные, но кратные ритмы);

≅ *неритмичный* - в котором неодинакова продолжительность выполнения каждой отдельной бригадой работ на частных фронтах.

Неритмичные потоки могут быть: с одинаковым ритмом работы бригад на частных фронтах (захватках) (с однородным изменением ритма) и неодинаковым ритмом работы бригад на частных фронтах (захватках) (с неоднородным изменением ритма).

*Ритмичный поток* организуется при возведении однородных или одинаковых объектов, когда все элементы потока имеют единый темп для развития всех составляющих потоков.

*Кратноритмичный поток* организуется при возведении однородных объектов, у которых трудоемкость выполнения отдельных работ отличается в некоторое число раз.

В реальных условиях строительства равно- и кратноритмичные потоки встречаются крайне редко, в основном при строительстве одинаковых домов силами больших строительных организаций. Разновидностью объектных и единственной формой комплексных потоков являются разноритмичные потоки.

*Разноритмичный поток* характерен для строительства неоднородных и неодинаковых зданий и сооружений, отличающихся размерами, этажностью и другими объемными показателями.

*Неритмичные потоки* проектируют для возведения объектов со сложной конфигурацией в плане, при различных высотах их помещений и неравномерности распределения объема работ в пространстве. Такие объекты трудно расчленить на захватки (участки), равные по трудоемкости. Поэтому продолжительности выполнения работ на захватках отдельными бригадами постоянного численного состава различны.

По *продолжительности функционирования* различают потоки:

≅ *кратковременные (краткосрочные)* - организуемые для возведения отдельных зданий и сооружений или их групп и имеющие, как правило, разовый характер; продолжительность строительства которых не превышает одного года;

Э долговременные (долгосрочные) - организуемые при строительстве зданий или комплексов объектов, охватывающих всю или преобладающую часть программы строительной организации и рассчитанные на длительное время (более одного года);

Э непрерывные - организуемые в условиях постоянной специализации строительной организации на одном виде продукции.

## 5. Пространственные, технологические и временные параметры потоков

Организация поточного строительства предприятий, зданий и сооружений предусматривает определение пространственных, технологических (организационных) и временных параметров потоков и зависимостей между ними.

К *пространственным параметрам потока* относится общее число фронтов работ (захваток, участков, объектов (зданий или сооружений)) –  $N$  ( $n$  – число частных фронтов работ (захваток, участков или объектов), шт.).

*Захватка* – это часть здания (сооружения) или его конструктивного элемента, объемы работ по которой выполняются бригадой (звеном) постоянного состава с определенным ритмом, обеспечивающим поточную организацию строительства объекта в целом.

В пределах захватки развиваются и увязываются между собой частные потоки, входящие в состав специализированного потока. Размеры захваток зависят от объемно-планировочной и конструктивной структуры объекта, состава оборудования, а также от направления развития специализированных потоков, состава выполняемых ими работ и их мощности (производительности). В качестве захваток принимают повторяющиеся пролеты, секции, этажи, этажи-секции, конструктивные объемы по определенной группе осей, рядов и отметок здания. Разбивку здания на захватки производят с учетом обеспечения необходимой устойчивости и пространственной жесткости несущих конструкций в условиях их самостоятельной работы в пределах захватки. Необходимо стремиться к тому, чтобы границы захваток совпадали с конструктивным членением здания – температурными и осадочными швами, что обеспечивает возможность прекращения или возобновления работы без нарушения технических условий.

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

Участок представляет собой пространственную конструктивно-технологическую часть здания, при возведении которой повторяется весь комплекс строительных, монтажных и специальных работ.

К *технологическим параметрам потока* относятся: число частных, специализированных или объектных потоков –  $M$  ( $m$  – количество выполняемых процессов в потоке или число видов работ, соответственно количество исполнителей (звеньев, бригад и т.д.), шт.), объемы ( $V$ ) и трудоемкость работ ( $T$ ), а также интенсивность (мощность) потока ( $V_m$ ).

**Интенсивность (мощность)** потока – количество продукции в натуральных показателях, выпускаемой строительным потоком за единицу времени (например, количество квадратных метров общей площади жилья в день).

К **временным параметрам потока** относятся:

$T_0$  – общая продолжительность работ по потоку в целом, дни (смены, недели, декады, и т.д.);

$T_i$  – суммарная продолжительность выполнения исполнителем (бригадой) потока работ на всех захватках, дни (смены, недели, декады, и т.д.);

$T_J$  – суммарная продолжительность выполнения исполнителями (бригадами) потока работ на одной ( $J$ -той) захватке, дни (смены, недели, декады, и т.д.);

$T_{\Sigma}$  – суммарная продолжительность выполнения всеми исполнителями (бригадами) потока работ на всех захватках, дни (смены, недели, декады, и т.д.);

$t$  – ритм (шаг) потока – время выполнения на одной захватке всех технологических и организационно нерасчлененных операций и работ, образующих частный или специализированный поток и выполняемых одним составом исполнителей (звено, бригада и т.д.), дни (смены, недели, декады, и т.д.);

$t_{бр}$  – ритм работы бригады – продолжительность работы бригады на частных фронтах работ, дни (смены, недели, декады, и т.д.);

$t_{пер}$  – время перерыва:

$t_{орг}$  – организационные перерывы между работами смежных бригад на одной и той же захватке, дни (смены, недели, декады, и т.д.);

$t_{тех}$  – технологические перерывы между работами смежных бригад на одной и той же захватке, дни (смены, недели, декады, и т.д.);

$T_P$  – период развертывания потока – период когда в поток с интервалом, равным его ритму, в работу последовательно включаются исполнители (бригады, необходимые машины и т.д.), дни (смены, недели, декады, и т.д.);

$T_U$  – период установившегося потока – период, которому соответствует постоянное максимальное количество исполнителей (бригады, необходимые машины и т.д.), дни (смены, недели, декады, и т.д.);

$T_C$  – период свертывания потока – период, когда из потока с интервалом, равным его ритму, последовательно выключаются исполнители (бригады, необходимые машины и т.д.), дни (смены, недели, декады, и т.д.), а также это период выпуска готовой продукции.

## **6. Основные закономерности, технологическая увязка и расчет параметров строительных потоков**

Технологическую увязку потоков выполняют исходя из следующих предположений:

У работу на каждой последующей захватке начинают с интервалом, равным шагу потока;

У на одной захватке может работать одна бригада (или звено) или несколько бригад с одинаковым ритмом;

У размер каждой захватки остается неизменным для всех видов работ, выполняемых на захватках;

У после выполнения всего комплекса работ на одной захватке, работы на каждой из последующих захваток заканчивают не позднее чем через интервал, равный шагу потока.

Эти предположения позволяют рассчитать параметры для наиболее простых видов потока: равно- и кратноритмичного.

При организации потока стремятся обеспечить наибольшую длительность периода установившегося потока. Оценку качества запроектированных потоков производят с использованием различных критериев, к которым относятся: продолжительность потока; степень совмещения работ; уровень равномерности строительного потока.

**Критерий продолжительности потока** является важнейшим, так как продолжительность оказывает влияние на эффективность строительства. Продолжительность потока зависит от общей трудоемкости работ, численного состава бригад, а для неритмичного потока также от очередности включения в работу захваток (участков), на которых функционирует поток. В неритмичных потоках разница между продолжительностями выполнения работ при различных вариантах очередностей включения в работу захваток, достигает 15-20 %.

*Степень совмещения работ на всех захватках*, т.е. степень использования фронта работ бригадами, оценивают коэффициентом  $C$ :

$$C = \frac{\Sigma t_{\sigma p}^j}{\Sigma t_{\sigma p}^j + \Sigma t_{opz}^j}, \quad (1)$$

где:  $\Sigma t_{\sigma p}^j$  - суммарное значение продолжительностей работы всех бригад на захватках, дни;  $\Sigma t_{opz}^j$  - суммарное значение продолжительностей организационных перерывов между работами бригад, дни.

*Уровень ритмичности потребления ресурсов* (трудовых, материальных, финансовых и т.д.) оценивается следующими показателями: коэффициент вариации отклонения объемов выполняемых (запроектированных) работ, либо фактически выполненных в заданные интервалы времени (например, по месяцам) от среднего уровня, степень максимального отклонения потребления ресурса от средней величины за определенный период времени.

*Равномерность потока ( $K_1$ ) по числу рабочих* - это отношение максимального числа исполнителей (чаще всего, в период установившегося потока) за время действия потока ( $A_{max}$ ) к их среднему числу ( $A_{cp}$ ):

$$K_1 = A_{max} / A_{cp}, \quad \text{где } A_{cp} = \Sigma T / \Pi, \quad (2)$$

где  $A_{max}$  - максимальное число исполнителей за время действия потока, шт.;  $A_{cp}$  - среднее число исполнителей за время действия потока, шт.;  $T$  - общая трудоемкость всех работ за время действия потока, чел.-дн. (маш.-см.);  $\Pi$  - общая продолжительность действия потока, дн. Значение  $K_1$  всегда больше единицы, но чем больше период установившегося потока (что достигается увеличением числа захваток), тем меньше значение  $K_1$  и наоборот.

*Равномерность потока ( $K_{BP}$ ) во времени* - это отношение продолжительности установившегося периода потока ( $T_y$ ) к его общей продолжительности ( $T_o$ ):

$$K_{BP} = T_y / T_o, \quad (3)$$

где  $T_y$  - период установившегося потока, дн.;  $T_o$  - общая продолжительность действия потока, дн. Значение  $K_{BP}$  всегда меньше единицы, а для неустановившегося потока ( $n \leq m+1$ ) равно нулю. Для установившегося потока  $K_{BP}$  больше нуля и ее значение тем больше, чем больше величина  $n$  и меньше  $m$ .

Параметры потока, такие как: продолжительность функционирования потока и составляющих его частных потоков, периоды (время) их включения в работу, очередность работы бригад на захватках или объектах, а также степень совмещения работ на всех захватках целесообразно рассчитывать при помощи матриц. Матрица - это прямоугольная таблица с пересекающимися строками и столбцами, в местах пересечения которых (т.е. клетках) записывают исходную информацию, над которой можно производить математические операции.

Расчет продолжительности и всех других параметров потока с использованием матриц выполняют в следующей последовательности: в середину клеток матрицы записывают продолжительности работ бригад на захватках ( $t$ ); далее в конце каждого столбца проставляют продолжительности работы бригад ( $\Sigma t_i$ ) и потоков ( $\Sigma t_j$ ), для чего суммируют продолжительность их работ на всех захватках ( $T_o^i = (t_{1-1}^0 - t_{1-1}^H) + (\dots) + (t_{1-jn}^0 - t_{1-jn}^H)$ ) или потоках ( $T_o^j = (t_{1-1}^0 - t_{1-1}^H) + (\dots) + (t_{in-1}^0 - t_{in-1}^H)$ ); затем в верхний левый угол заносят время начала работы 1 бригады на первой захватке (принимается равным нулю ( $t_{11}^H = 0$ )); а в нижний правый угол - окончание выполнения первой работы на первой захватке (определится из формулы:  $t_{i-j}^O = t_{i-j}^H + t$ ) (т.е. время начала работы плюс ее продолжительность); время окончания работы на I захватке считается началом работы этой бригады на II захватке, а также время начала работы 2 бригады на этой же захватке (табл. 2).

Таблица 2.

$n$ за- хватки	$m$ - количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)		$\Sigma t_j$	$\Sigma t_{nep}$	$\frac{\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}}$
	$i=1$	$i=2$			
$j=I$	$t_{1I}^H = 0$ $t$ $t_{1I}^O = t_{1I}^H + t$	$t_{nep}$ $t$ $t_{nep}$	$t_{2I}^H = t_{1I}^O + t_{max}$ $t$ $t_{2I}^O = t_{2I}^H + t$	$(t_{2I}^O - t_{2I}^H)$ + $(t_{1I}^O - t_{1I}^H)$	$\Sigma tI =$ $\Sigma tI +$ $\Sigma t_{nep}$
$j=II$	$t_{1II}^H = t_{1I}^O$ $t$ $t_{1II}^O = t_{1II}^H + t$	$t_{nep}$ $t$ $t_{nep}$	$t_{2II}^H = t_{2I}^O + t_{опз}$ $t$ $t_{2II}^O = t_{2II}^H + t$	$(t_{2II}^O - t_{2II}^H)$ + $(t_{1II}^O - t_{1II}^H)$	$\Sigma tII =$ $\Sigma tII +$ $\Sigma t_{nep}$
$\Sigma t_i$	$\Sigma t_1 = (t_{1II}^O - t_{1II}^H) + (t_{1I}^O - t_{1I}^H)$	$\Sigma t_2 = (t_{2II}^O - t_{2II}^H) + (t_{2I}^O - t_{2I}^H) - t_{опз}$	$\Sigma t_1 + \Sigma t_2$	$\Sigma t_{nep(I+II)}$	$\Sigma tI + \Sigma tII$

Параметры оценки качества запроектированного потока определяются из:

$T_\Sigma = \Sigma tI + \Sigma tII$	$C = \Sigma t_j / (\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}) = (\Sigma t_1 + \Sigma t_2) / (\Sigma tI + \Sigma tII)$	$K_2 = T_y / T_o$	$T_o = t_{2II}^O$
-------------------------------------	---	-------------------	-------------------

Поток графически может быть представлен в виде линейного календарного графика (график Г.Л. Ганта (1890 г.)) или циклограммы (циклограмма М.С. Будникова (1935 г.)). На линейном графике для каждой специализированной бригады потока выделена горизонтальная полоса, а период работы такой бригады на разных захватках показывается смещенными относительно друг друга отрезками. Если соединить пунктирной линией точки, определяющие моменты начала работ каждой бригады по захваткам, то получим наклонные линии, каждая пара которых ограничивает определенную захватку. В циклограмме сохра-

няется календарная шкала линейного графика, но горизонтальная полоса выделяется для захваток в порядке их номеров снизу вверх. Поэтому работа каждой бригады изображается наклонной линией, которая как бы символизирует движение каждой бригады по фронту работ одной захватки и переход бригад с одной захватки на другую.

Особенности расчета и оптимизация различных потоков с использованием матриц целесообразно рассмотреть на конкретных примерах.

## 7. Расчет параметров равноритмичного потока. Расчет с использованием матриц. График Г.Л. Ганта, циклограмма М.С. Будникова.

В равноритмичных потоках ритмы  $t_{\text{оп}}$  работы всех бригад одинаковы и равны ритму потока:

$$t_{\text{оп}} = t \quad (4)$$

Общая продолжительность работ у всех исполнителей в потоке  $T_J$  одинакова, а общую продолжительность работы по объекту  $T_O$  можно разбить на две части  $T_1$  и  $T_2$ , тогда:

$$T_O = T_1 + T_2, \text{ где} \quad (5)$$

$$T_1 = T_P = (n - 1) \cdot t, \text{ а (в равноритмичных потоках } T_P = T_C) \quad (6)$$

$$T_2 = t_{\text{оп}} = T_V + T_C = m \cdot t, \text{ тогда} \quad (7)$$

$$T_O = (n - 1) \cdot t + m \cdot t = (n + m - 1) \cdot t \quad (8)$$

Из формулы (8), являющейся основной формулой потока, видно, что чем меньше ритм потока ( $t$ ), тем меньше и общая продолжительность выполнения работ. Но возможная минимизация величины ( $t$ ) ограничена значениями многих факторов потока: размерами захваток, рациональным составом бригад по числу и профессиям рабочих, технологическим условиям между смежными бригадами, соблюдения требований охраны труда и т.д.

В зависимости от характера исходных данных по формуле (8) можно рассчитать различные параметры потока. Так при заданной общей продолжительности строительства ( $T_O$ ) и известном количестве исполнителей ( $m$ ) и захваток ( $n$ ) величина шага потока:

$$t = \frac{T_O}{(n + m - 1)}, \quad (9)$$

а количество исполнителей (бригад) при заданных  $T_O$  и принятых  $t$  и  $n$ :

$$m = \frac{T_O}{t} + 1 - n, \quad (10)$$

а количество фронтов работ (захваток) при заданных  $T_O$  и принятых  $t$  и  $m$ :

$$n = \frac{T_O}{t} + 1 - m, \quad (11)$$

При проектировании потоков учитывают также возможные технологические ( $t_{\text{тех}}$ ) и организационные ( $t_{\text{орг}}$ ) перерывы. Если на захватке последующую работу можно выполнять только после определенного перерыва, обусловленного технологией работ (выдержка бетонной конструкции), то появляется необходимость в устройстве технологического перерыва. Организационные перерывы возникают в ряде случаев по условиям охраны труда (запрещается на одной и той же захватке вести каменные и монтажные работы), а при неритмичных потоках – в случае сдвига сроков работы исполнителей. Если эти перерывы не

учтены в продолжительности шага потока, то их значения включаются в расчетную формулу общей продолжительности потока:

$$T_0 = (n + m - 1) \cdot t + \Sigma t_{mex} + \Sigma t_{опз}. \quad (12)$$

Если первая бригада потока заканчивает свою работу, а последняя еще не приступила к ней, то такой поток называется *неустановившимся*. Это характерно для равномерных потоков, когда число захваток  $n$  меньше чем  $m+1$ . Если число захваток  $n$  равно количеству процессов в потоке  $m$ , то поток также никогда не доводится до максимального числа исполнителей. На определенный период в потоке наибольшее число исполнителей меньше возможного максимального числа их в установившемся потоке на количество исполнителей первой бригады потока. А если количество захваток  $n$  меньше  $m$ , то число исполнителей всегда меньше максимального уровня.

Для равномерных и кратноритмичных потоков характерно следующее условие: продолжительности выполнения работы бригад или продолжительности выполнения частных специализированных потоков  $\Sigma t_i$  постоянны и равны между собой  $\Sigma t_1 = \Sigma t_2 = \dots = \Sigma t_i = const$ .

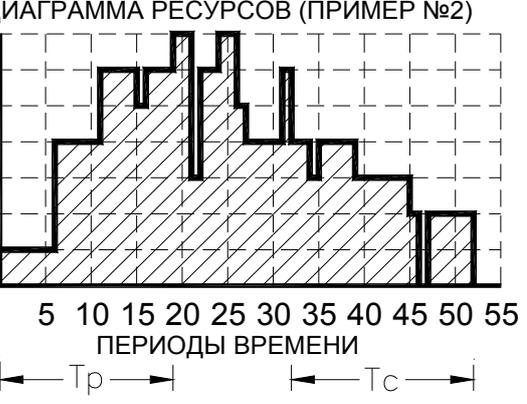
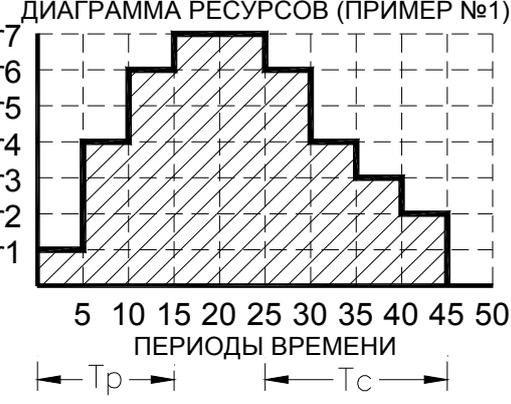
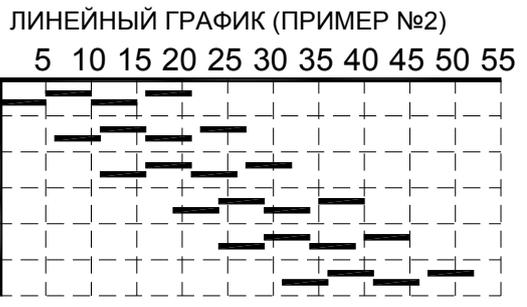
*Пример №1:* Рассчитать равномерный поток, если ритм потока  $t=5$ , количество исполнителей  $r_1=1, r_2=3, r_3=2, r_4=1, r_5=1, r_6=2$ , количество захваток  $n=4$ , количество частных или специализированных потоков (число специализированных бригад)  $m=6$ . Построить линейный график, циклограмму и диаграмму ресурсов. Определить критерии оценки качества запроектированного потока.

Таблица 3.

Матричный расчет равномерного потока.

N захватки	m – количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)						$\Sigma t_j$	$\Sigma t_{nep}$	$\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}$
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6			
j=I	0 5 5	5 5 10	10 5 15	15 5 20	20 5 25	25 5 30	30	0	30
j=II	5 5 10	10 5 15	15 5 20	20 5 25	25 5 30	30 5 35	30	0	30
j=III	10 5 15	15 5 20	20 5 25	25 5 30	30 5 35	35 5 40	30	0	30
j=IV	15 5 20	20 5 25	25 5 30	30 5 35	35 5 40	40 5 45	30	0	30
$\Sigma t_i$	20-0=20	25-5=20	30-10=20	35-15=20	40-20=20	45-25=20	120	0	120

$T_{\Sigma} = \Sigma t_j + \Sigma t_{nep} = 120$	$C = \Sigma t_j / (\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}) = 1$	$K_{BP} = T_y / T_0 = 0$	$T_0 = 45$
--	--	--------------------------	------------



Циклограмма равноритмичного потока представляет собой прямую линию, а нескольких потоков – совокупность прямых линий.

*Пример № 2:* Рассчитать равноритмичный поток с технологическими и организационными перерывами, если ритм потока  $t=5$ , количество исполнителей  $r_1=1, r_2=3, r_3=2, r_4=1, r_5=1, r_6=2$ , количество захваток  $n=4$ , количество частных или специализированных потоков  $m=6$ ; технологические перерывы:  $t_{тех1}=1, t_{тех3}=3, t_{тех5}=2, t_{оргIII}=1$ . Построить линейный график и циклограмму. Определить критерии оценки качества запроектированного потока.

Таблица 4.

Матричный расчет равноритмичного потока с перерывами.

N за- хватки	m – количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)						$\Sigma t_j$	$\Sigma t_{пер}$	$\Sigma t_j + \Sigma t_{пер}$			
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6						
j=I	0 5 5	1 5 11	6 5 16	11 5 24	3 5 24	19 5 29	24 5 36	2 5 29	31 5 36	30- 0= 30	1+3 +2= 6	36
j=II	5 5 10	1 5 16	11 5 21	16 5 29	3 5 29	24 5 34	29 5 41	2 5 34	36 5 41	35- 5= 30	1+3 +2= 6	36
j=III	10 5 1	1 5 21	16 5 26	21 5 34	3 5 34	29 5 39	34 5 46	2 5 39	41 5 46	40- 10= 30	1+3 +2= 6	36
j=IV	16 5 21	1 5 27	22 5 32	27 5 40	3 5 40	35 5 45	40 5 52	2 5 45	47 5 52	46- 16= 30	1+3 +2= 6	36
$\Sigma t_i$	21-0-1= =20	27-6-1= =20	32-11-1= =20	40-19-1= =20	45-24-1= =20	52-31-1= =20				120	24	144

$T_{\Sigma} = \Sigma t_j + \Sigma t_{пер} = 120$	$C = \Sigma t_j / (\Sigma t_j + \Sigma t_{пер}) = 0,833$	$K_{BP} = T_y / T_0 = 0$	$T_0 = 52$
--	--	--------------------------	------------

Циклограмма равноритмичного потока с технологическими или организационными перерывами представляет собой совокупность прямых линий смещенных относительно оси абсцисс на величину перерыва.

### 8. Расчет параметров разноритмичного (кратноритмичного) потока. График Г.Л. Ганта, циклограмма М.С. Будникова. Расчет с использованием матриц.

В разноритмичных потоках для выполнения одних процессов может быть принят одинаковый ритм работы бригад, равный некоторому числу дней, а для других, из-за повышенной трудоемкости работ, ритмы должны быть приняты в несколько раз большими.

При функционировании разноритмичных потоков, для того, чтобы захватки не простаивали, стремятся увеличить численность рабочих в бригадах, имеющих наибольший ритм, и тем самым уравнивать ритмы по наименьшему. Однако, это не всегда возможно по различным причинам: мал фронт работ, ограничена производительность крана и т.д. С целью исключения пустующих захваток можно организовать поток с одинаковыми ритмами бригад, приняв за основу наибольший ритм. Но при этом сохраняется один из недостатков таких потоков - неоправданно большая продолжительность работ. Избежать этих недостатков, при проектировании потоков, возможно, если сделать значения ритмов работ бригад кратными друг другу.

После этого выполнение процессов с удлинением ритмов поручают нескольким бригадам. Например, для кратности ритмов, равной двум, назначают две бригады для выполнения одного производственного процесса; при кратности ритмов, равной трем, - три бригады и т.д. Технологическая увязка таких потоков также достаточно просто осуществляется, - бригады включаются в работу по мере освобождения соответствующих захваток предыдущей бригадой.

При организации потока с кратным ритмом соблюдаются следующие условия: ритм потока равен наименьшему из ритмов бригад потока, величина  $t_{бр}$  для всех бригад кратна  $t$ ; количество бригад выполняющих один и тот же процесс, равно значению кратности этой бригады ритму потока. Все формулы, приведенные для потока с равным ритмом, применимы и для потока с кратным ритмом.

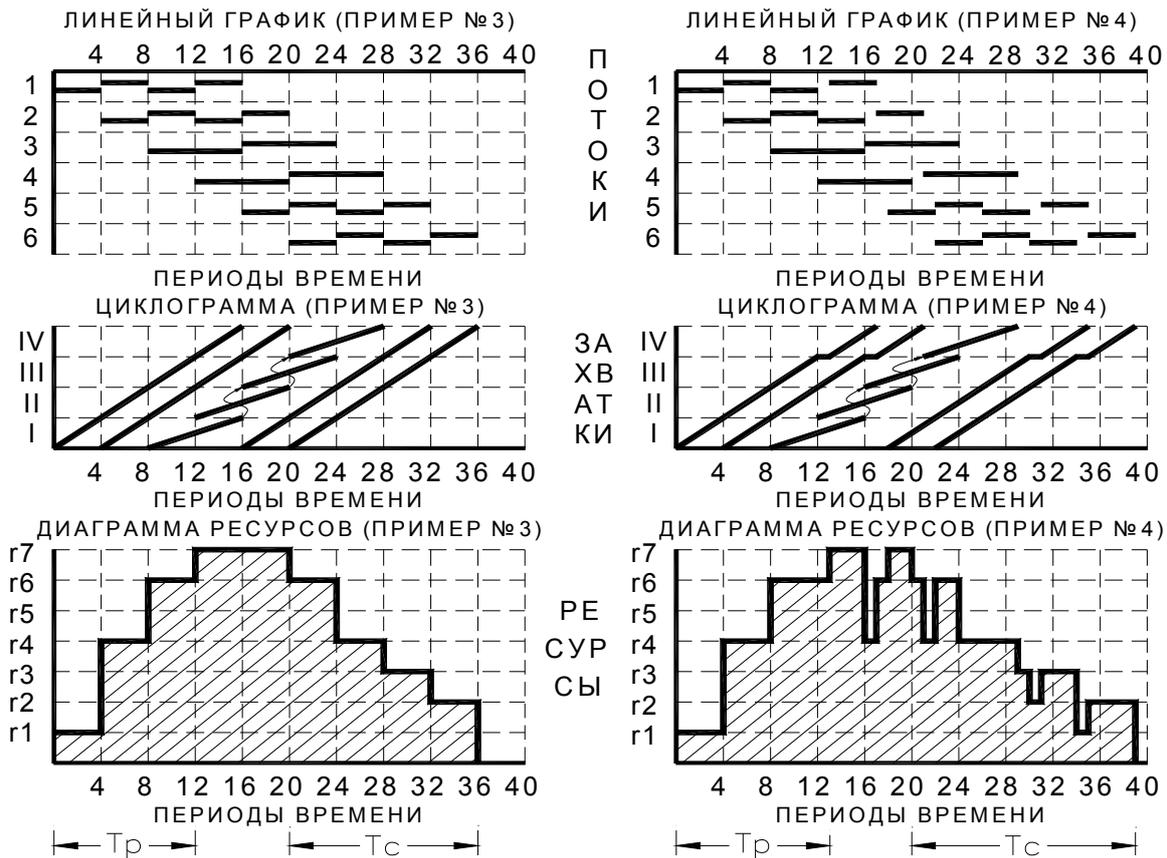
*Пример №3:* Рассчитать кратноритмичный поток, если  $t_1=t_2=t_5=t_6=4$ ,  $t_3=t_4=8$ , количество исполнителей  $r_1=1$ ,  $r_2=3$ ,  $r_3=2$ ,  $r_4=1$ ,  $r_5=1$ ,  $r_6=2$ ,  $n=4$ ,  $m=6$ . Построить линейный график и циклограмму. Определить критерии оценки качества запроектированного потока.  $t_2/t_3 = t_5/t_4 = 4/8 = 1/2$ .

Таблица 5.

Матричный расчет кратноритмичного потока.

<i>n</i> за- хватки	<i>m</i> - количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)						$\Sigma t_j$	$\Sigma t_{nep}$	$\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}$
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6			
j=I	0 4 4	4 4 8	8 8 16		16 4 20	20 4 24	24	0	24
j=II	4 4 8	8 4 12		12 8 20	20 4 24	24 4 28	24	0	24
j=III	8 4 12	12 4 16	16 8 24		24 4 28	28 4 32	24	0	24
j=IV	12 4 16	16 4 20		20 8 28	28 4 32	32 4 36	24	0	24
$\Sigma t_i$	16-0=16	20-4=16	24-8=16	28-12=16	32-16=16	36-20=16	96	0	96

$T_{\Sigma} = \Sigma t_j + \Sigma t_{nep} = 96$	$C = \Sigma t_j / (\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}) = 1$	$K_{BP} = T_y / T_0 = 0$	$T_0 = 36$
---	--	--------------------------	------------



*Пример № 4:* Рассчитать кратноритмичный поток, если ритмы потока:  $t_1=t_2=t_5=t_6=4$ ,  $t_3=t_4=8$ , количество исполнителей  $r_1=1$ ,  $r_2=3$ ,  $r_3=2$ ,  $r_4=1$ ,  $r_5=1$ ,  $r_6=2$ ,  $n=4$ ,  $m=6$ ;  $t_{тех3}=2$ ,  $t_{тех4}=2$ ,  $t_{оргIII}=1$ . Построить линейный график и циклограмму. Определить критерии оценки качества запроектированного потока.

$$t_2/t_3 = t_5/t_4 = 4/8 = 1/2.$$

Таблица 6.

Матричный расчет кратноритмичного потока с перерывами.

<i>n</i> за- хватки	<i>m</i> - количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)						$\Sigma t_j$	$\Sigma t_{неп}$	$\Sigma t_j +$ $\Sigma t_{неп}$
	<i>i</i> =1	<i>i</i> =2	<i>i</i> =3	<i>i</i> =4	<i>i</i> =5	<i>i</i> =6			
<i>j</i> =I	0 4 4	4 4 8	8 8 16	2	18 4 22	22 4 26	24	2	26
<i>j</i> =II	4 4 8	8 4 12		12 8 20	2 2 26	22 4 30	26	2	26
<i>j</i> =III	8 4 1	12 4 16	16 8 24	2	26 4 30	30 4 34	24	2	26
<i>j</i> =IV	13 4 17	17 4 21		21 8 29	2 2 35	31 4 39	35	2	26
$\Sigma t_i$	17-0-1= =16	21-4-1= =16	24-8= =16	29-12-1= =16	35-18-1= =16	39-22-1= =16	96	8	104
$T_{\Sigma} = \Sigma t_j + \Sigma t_{неп} = 104$		$C = \Sigma t_j / (\Sigma t_j + \Sigma t_{неп}) = 0,923$		$K_2 = T_y / T_0 = 0$		$T_0 = 39$			

## 9. Расчет параметров неритмичных потоков с однородным изменением ритма. График Г.Л. Ганта, циклограмма М.С. Будникова. Расчет с использованием матриц.

Для неритмичного потока с однородным изменением ритма необходимо определить такие сроки начала работы бригад потока, чтобы на одной и той же захватке одновременно не работали две разные бригады, что является основным условием потока, и одновременно не было бы необоснованного разрыва во времени между началом работы последующих бригад на одной и той же захватке.

Неритмичные потоки можно рассчитывать из условий непрерывной работы бригады и непрерывной работы на захватке.

При расчете матрицы неритмичного потока с однородным изменением ритма при условии непрерывной работы бригады необходимо придерживаться следующих правил:

- ↓ рассчитывается первая колонка;
- ↑ если ритм последующей бригады меньше ритма предыдущей бригады, то расчет следующей колонки ведется снизу вверх;
- ↓ если ритм последующей бригады больше ритма предыдущей бригады, то расчет следующей колонки ведется сверху вниз.

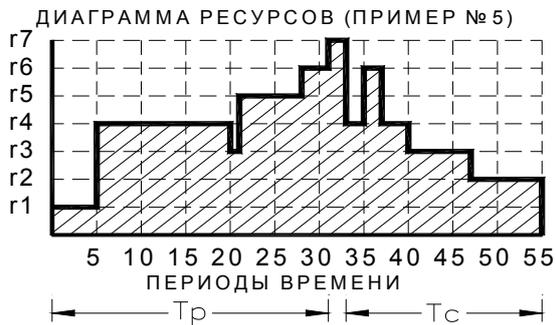
*Пример №5:* Рассчитать неритмичный поток с однородным изменением ритма при условии непрерывной работы бригады, если  $t_1=5, t_2=7, t_3=4, t_4=3, t_5=4, t_6=5$ , количество исполнителей  $r_1=1, r_2=3, r_3=2, r_4=1, r_5=1, r_6=2, n=4, m=6$ . Построить линейный график, циклограмму и диаграмму ресурсов. Определить критерии оценки качества запроектированного потока.

Таблица 7.

Матричный расчет неритмичного потока с однородным изменением ритма при условии непрерывной работы бригады.

<b>n</b> за- хватки	<b>m</b> - количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)						$\Sigma t_j$	$\Sigma t_{nep}$	$\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}$
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6			
j=I	0 5 5	5 9 7 12	21 3 4 25	28 3 31	31 4 35	35 5 40	28	12	40
j=II	5 5 10	2 12 7 19	6 25 2 29	31 1 3 34	35 1 4 39	40 5 45	28	12	40
j=III	10 5 15	4 19 7 26	3 29 1 33	34 2 3 37	39 2 4 43	45 5 50	28	12	40
j=IV	15 5 20	6 26 7 33	33 4 37	37 3 3 40	43 3 4 47	50 5 55	28	12	40
$\Sigma t_i$	20-0=20	33-5=28	37-21=16	40-28=12	47-31=16	55-35=20	112	48	160

$T_{\Sigma} = \Sigma t_j + \Sigma t_{nep} = 160$	$C = \Sigma t_j / (\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}) = 0,7$	$K_{BP} = T_y / T_0 = 0$	$T_0 = 55$
--	--	--------------------------	------------



При расчете матрицы неритмичного потока с однородным изменением ритма при условии непрерывной работы на захватке необходимо придерживаться следующих правил:

- рассчитывается первая строка;
- ↓ рассчитывается колонка с максимальным ритмом;
- ↔ рассчитываются остальные строчки вправо и влево от ячейки с максимальным ритмом.

*Пример № 6:* Рассчитать неритмичный поток с однородным изменением ритма при условии непрерывной работы на захватке, если  $t_1=5$ ,  $t_2=7$ ,  $t_3=4$ ,  $t_4=3$ ,  $t_5=4$ ,  $t_6=5$ , количество исполнителей  $r_1=1$ ,  $r_2=3$ ,  $r_3=2$ ,  $r_4=1$ ,  $r_5=1$ ,  $r_6=2$ ,  $n=4$ ,  $m=6$ . Построить линейный график, циклограмму и диаграмму ресурсов. Определить критерии оценки качества запроектированного потока.

Таблица 8.

Матричный расчет неритмичного потока с однородным изменением ритма при условии непрерывной работы на захватке.

<i>n</i> за- хватки	<i>m</i> - количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)						$\Sigma t_j$	$\Sigma t_{nep}$	$\frac{\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}}{\Sigma t_{nep}}$
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6			
j=I	0 5 2 5	5 7 12	12 4 3 16	16 3 4 19	19 4 3 23	23 5 2 28	28	0	28
j=II	7 5 2 12	12 7 19	19 4 3 23	23 3 4 26	26 4 3 30	30 5 2 35	28	0	28
j=III	14 5 2 19	19 7 26	26 4 3 30	30 3 4 33	33 4 3 37	37 5 2 42	28	0	28
j=IV	21 5 26	26 7 33	33 4 37	37 3 40	40 4 44	44 5 2 49	28	0	28
$\Sigma t_j$	20	28	16	12	16	20	112	0	112

$T_{\Sigma} = \Sigma t_j + \Sigma t_{nep} = 112$	$C = \Sigma t_j / (\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}) = 1$	$K_{BP} = T_y / T_o = 0,14$	$T_o = 49$
--	--	-----------------------------	------------

### 10. Расчет параметров неритмичных потоков с неоднородным изменением ритма. График Г.Л. Ганта, циклограмма М.С. Будникова. Расчет с использованием матриц.

В неритмичном потоке с неоднородным изменением ритма ритм работы каждой бригады по захваткам может иметь различные значения. В связи с этим непрерывность работы каждой отдельной бригады потока, кроме первой, может быть обеспечена главным образом за счет изменения сроков начала работ последующей бригады с учетом сроков окончания работ предшествующей.

При расчете матрицы неритмичного потока с неоднородным изменением ритма при условии непрерывной работы потока необходимо придерживаться следующих правил:

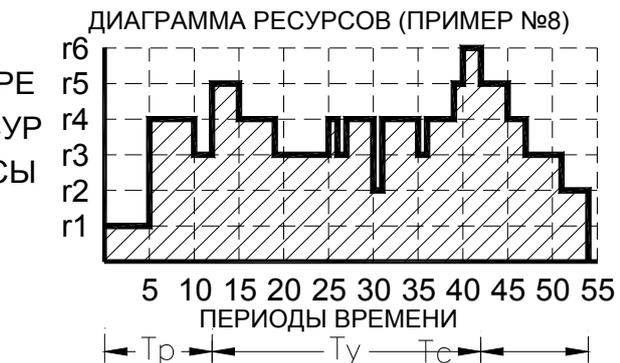
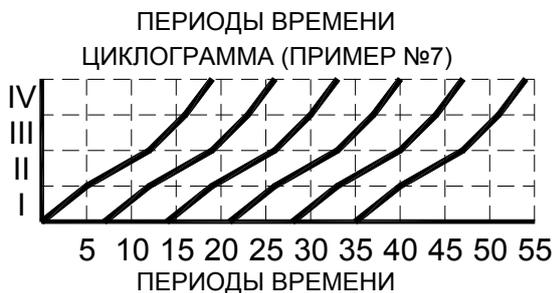
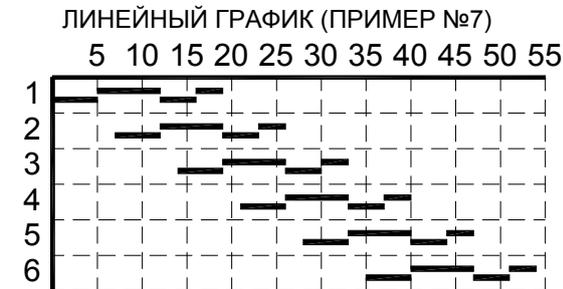
- ↓ рассчитывается первая колонка;
- рассчитывается строка с максимальным ритмом;
- ↑ ↓ рассчитываются остальные ячейки в каждом потоке вверх и вниз от ячейки с максимальным ритмом.

*Пример №7:* Рассчитать неритмичный поток с неоднородным изменением ритма при условии непрерывной работы потока, если ритмы работы на захватках:  $t_I=5$ ,  $t_{II}=7$ ,  $t_{III}=4$ ,  $t_{IV}=3$ , количество исполнителей  $r_1=1$ ,  $r_2=3$ ,  $r_3=2$ ,  $r_4=1$ ,  $r_5=1$ ,  $r_6=2$ , количество фронтов работ  $n=4$ , количество выполняемых процессов (бригад)  $m=6$ . Построить линейный график, циклограмму и диаграмму ресурсов. Определить критерии оценки качества запроектированного потока.

Таблица 9.

Матричный расчет неритмичного потока с неоднородным изменением ритма при условии непрерывной работы потока.

n за- хватки	m - количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)						$\Sigma t_j$	$\Sigma t_{nep}$	$\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}$				
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6							
j=I	0 5 5	2 7 2	7 5 12	2 5 19	14 5 26	2 5 33	21 5 40	28 5 47	2 5 54	35 5 61	30	10	40
j=II	5 7 12	7 12 19	12 19 26	19 26 33	26 33 40	33 40 47	40 47 54	47 54 61	54 61 68	61 68 75	42	0	42
j=III	12 4 16	3 4 23	3 4 26	3 4 30	3 4 37	3 4 44	3 4 51	3 4 58	3 4 65	3 4 72	24	15	39
j=IV	16 3 19	4 3 26	4 3 30	4 3 37	4 3 44	4 3 51	4 3 58	4 3 65	4 3 72	4 3 79	18	20	38
$\Sigma t_j$	19-0=19	26-7=19	33-14=19	40-21=19	47-28=19	54-35=19	114	45	159				
$T_{\Sigma} = \Sigma t_j + \Sigma t_{nep} = 159$			$C = \Sigma t_j / (\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}) = 0,717$			$K_{BP} = T_y / T_0 = 0$			$T_0 = 54$				



При расчете матрицы неритмичного потока с неоднородным изменением ритма при условии непрерывной работы потока необходимо придерживаться следующих правил:

→ рассчитывается первая строка;

← если ритм работы на следующей захватке меньше предыдущего, то расчет ведется справа налево;

→ если ритм работы на следующей захватке больше предыдущего, то расчет ведется слева направо.

*Пример № 8:* Рассчитать неритмичный поток с неоднородным изменением ритма при условии непрерывной работы на захватке, если  $t_I=5$ ,  $t_{II}=7$ ,  $t_{III}=4$ ,  $t_{IV}=3$ , количество исполнителей  $r_1=1$ ,  $r_2=3$ ,  $r_3=2$ ,  $r_4=1$ ,  $r_5=1$ ,  $r_6=2$ ,  $n=4$ ,  $m=6$ . Построить линейный график и циклограмму. Определить критерии оценки качества запроецированного потока.

Таблица 10.

Матричный расчет неритмичного потока с неоднородным изменением ритма при условии непрерывной работы на захватке.

<i>n</i> за- хватки	<i>m</i> - количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)						$\Sigma t_j$	$\Sigma t_{nep}$	$\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}$
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6			
j=I	0 5 5	5 5 2 10	10 5 4 15	15 5 6 20	20 5 8 25	25 5 10 30	30	0	30
j=II	5 7 15 12	12 7 12 19	19 7 9 26	26 7 6 33	33 7 3 40	40 7 7 47	42	0	42
j=III	27 4 5 31	31 4 4 35	35 4 3 39	39 4 2 43	43 4 1 47	47 4 4 51	24	0	24
j=IV	36 3 39	39 3 42	42 3 45	45 3 48	48 3 51	51 3 54	18	0	18
$\Sigma t_i$	19	19	19	19	19	19	114	0	114

$T_{\Sigma} = \Sigma t_j + \Sigma t_{nep} = 114$	$C = \Sigma t_j / (\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}) = 1$	$K_{BP} = T_y / T_o = 0,259$	$T_o = 54$
--	--	------------------------------	------------

При расчете матрицы разноритмичного потока с неопределенным изменением ритма при условии непрерывной работы потока необходимо придерживаться следующих правил:

↓ рассчитывается первая колонка;

± при получении отрицательных перерывов между работой смежных бригад, расчет начинают с клетки с наименьшим перерывом.

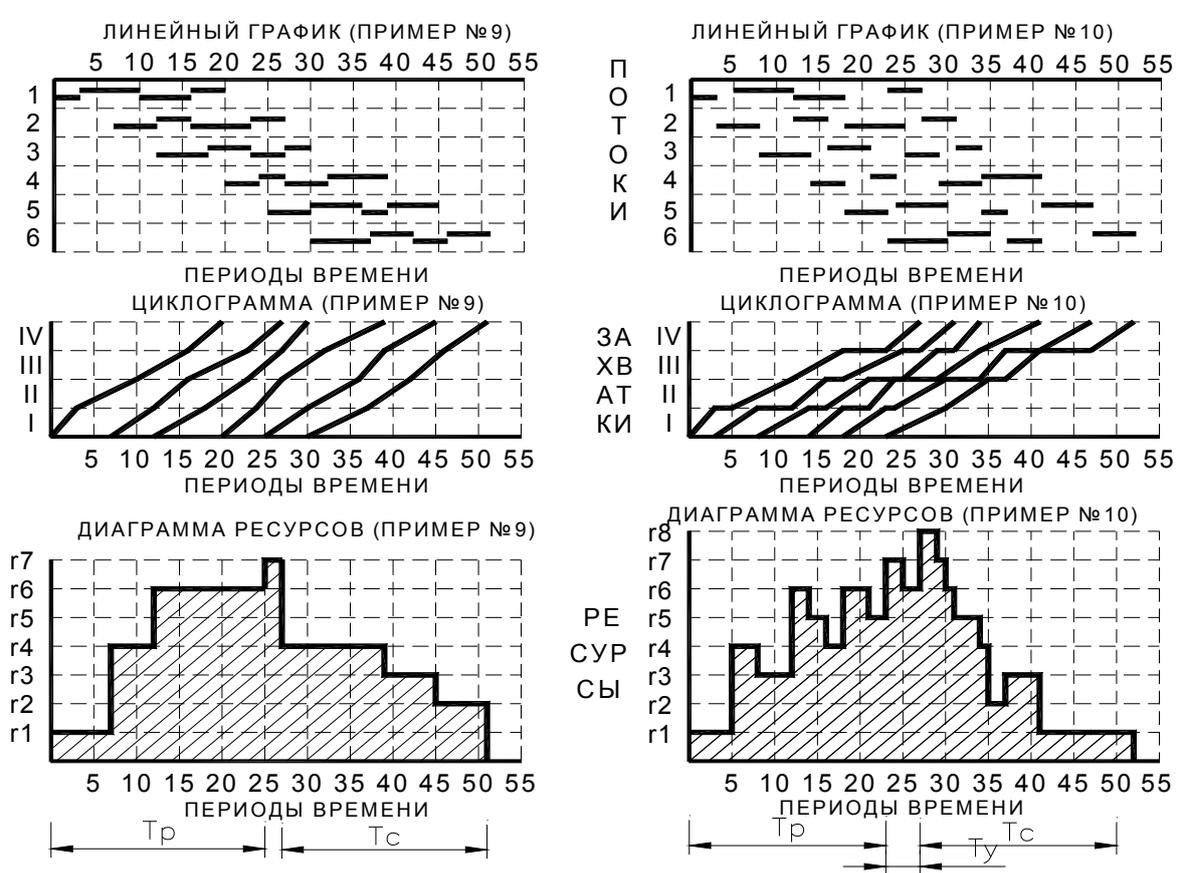
*Пример № 9:* Рассчитать разноритмичный поток с неопределенным изменением ритма при условии непрерывной работы бригады, если

$t_{1I}=t_{4II}=t_{5III}=t_{3IV}=3$ ,  $t_{4I}=t_{2II}=t_{3III}=t_{6III}=t_{1IV}=t_{2IV}=4$ ,  $t_{2I}=t_{5I}=t_{3II}=t_{6II}=t_{4III}=t_{6IV}=5$ ,  
 $t_{3I}=t_{5II}=t_{1III}=t_{5IV}=6$ ,  $t_{6I}=t_{1II}=t_{2III}=t_{4IV}=7$ , количество исполнителей  $r_1=1, r_2=3, r_3=2,$   
 $r_4=1, r_5=1, r_6=2, n=4, m=6$ . Построить линейный график и циклограмму. Определить критерии оценки качества запроектированного потока.

Таблица 11.

Матричный расчет разноритмичного потока с неоднородным изменением ритма при условии непрерывной работы бригады.

n за- хватки	m - количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)						$\Sigma t_j$	$\Sigma t_{nep}$	$\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}$					
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6								
j=I	0	4	7	12	2	20	1	25	30	30	7	37		
j=II	3	2	12	2	18	1	24	3	30	1	37	30	9	39
j=III	10	6	16	7	23	4	27	4	36	3	42	29	7	36
j=IV	16	4	20	3	23	4	27	2	32	7	39	29	6	35
$\Sigma t_i$	20	20	18	19	20	21	118	29	147					
$T_{\Sigma} = \Sigma t_j + \Sigma t_{nep} = 147$			$C = \Sigma t_j / (\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}) = 0,803$			$K_{BP} = T_y / T_O = 0$			$T_O = 51$					



При расчете матрицы разноритмичного потока с неопределенным изменением ритма при условии непрерывной работы на захватке необходимо придерживаться следующих правил:

→ рассчитывается первая строка;

± при получении отрицательных перерывов между работой смежных бригад, расчет начинают с клетки с наименьшим перерывом.

*Пример № 10:* Рассчитать разноритмичный поток с неопределенным изменением ритма при условии непрерывной работы на захватке, если  $t_{1I}=t_{4II}=t_{5III}=t_{3IV}=3$ ,  $t_{4I}=t_{2II}=t_{3III}=t_{6III}=t_{1IV}=t_{2IV}=4$ ,  $t_{2I}=t_{5I}=t_{3II}=t_{6II}=t_{4III}=t_{6IV}=5$ ,  $t_{3I}=t_{5II}=t_{1III}=t_{5IV}=6$ ,  $t_{6I}=t_{1III}=t_{2III}=t_{4IV}=7$ , количество исполнителей  $r_1=1, r_2=3, r_3=2, r_4=1, r_5=1, r_6=2, n=4, m=6$ . Построить линейный график и циклограмму. Определить критерии оценки качества запроектированного потока.

Таблица 12.

Матричный расчет разноритмичного потока с неоднородным изменением ритма при условии непрерывной работы на захватке.

n за- хватки	m - количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)						$\Sigma t_j$	$\Sigma t_{nep}$	$\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}$
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6			
j=I	0 3 2 3	3 5 4 8	8 6 2 14	14 4 3 18	18 5 1 23	23 7 30	30	0	30
j=II	5 7 12	12 4 2 16	16 5 4 21	21 3 5 24	24 6 4 30	30 5 2 35	30	0	30
j=III	12 6 5 18	18 7 2 25	25 4 2 29	29 5 34	34 3 4 37	37 4 6 41	29	0	29
j=IV	23 4 27	27 4 31	31 3 34	34 7 41	41 6 47	47 5 52	29	0	29
$\Sigma t_i$	27-0-2- 5=20	31-3-4-2- 2=20	34-8-2-4- 2=18	41-14-3- 5=19	47-18-1- 4-4=20	52-23-2- 6=21	118	0	118

$T_{\Sigma} = \Sigma t_j + \Sigma t_{nep} = 118$	$C = \Sigma t_j / (\Sigma t_j + \Sigma t_{nep}) = 1$	$K_{BP} = T_y / T_o = 0,077$	$T_o = 52$
--	--	------------------------------	------------

## 11. Потоки при строительстве линейно-протяженных сооружений

К линейно-протяженным объектам в строительстве относятся железные и автомобильные дороги, трубопроводы, линии электропередачи и связи и др. Сущность поточного метода применительно к таким объектам заключается в том, что все механизированные бригады, выполняющие отдельные процессы, передвигаются вдоль трассы, выдерживая между собой определенный интервал. Строительство линейно-протяженных сооружений характеризуется строгим соблюдением технологической последовательности выполнения процессов,

участием в потоке постоянного числа машин и рабочих при строгой специализации отдельных исполнителей.

На строительстве таких объектов отдельные виды работ могут быть как сравнительно равномерно распределенными по всей длине сооружения, так и сосредоточенными по отдельным его участкам (строительство мостов, тоннелей, насосных и компрессорных станций и т.д.). Если объемы работ по отдельным участкам значительны, то организуются дополнительные потоки, мощность которых обеспечивает их выполнение одновременно с окончанием работ по всей магистрали и сам характер сосредоточенных работ может резко отличаться от работ, выполняемых по всей линии.

Расчетные параметры потока для таких сооружений аналогичны расчетным параметрам для других видов потоков.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:**

1. Какова сущность поточной организации строительного производства?
2. Назовите основные принципы проектирования потоков.
3. Сформулируйте основную задачу проектирования потоков.
4. Дайте классификацию строительных потоков.
5. Назовите пространственные и технологические параметры строительных потоков.
6. Перечислите временные параметры строительных потоков.
7. Каковы основные закономерности и технологическая увязка строительных потоков?
8. Расчет параметров равноритмичного потока и разноритмичных потоков.
9. Циклограммы строительных потоков.
10. Расчет параметров неритмичного потока с однородным изменением ритма.
11. Что такое максимальное приближение или критическое положение работы двух смежных бригад на циклограмме?
12. Расчет параметров неритмичного потока с неоднородным изменением ритма.
13. Расчет параметров потоков с использованием матриц.
14. Определение критериев качества запроектированных потоков.
15. Что такое степень использования фронта работ бригадами?
16. Что такое показатель равномерности строительных потоков?

## 12. Сетевые модели и сетевые графики.

### Достоинства и недостатки

*Сетевая модель* свободна от недостатков других моделей и позволяет лучше всего отобразить порядок возведения сложного объекта, осуществлять научно-обоснованные методы строительства, определять и разрешать многие проблемные ситуации, возникающие в процессе производства строительных работ, в том числе и с применением ЭВМ. Сетевые модели имеют ряд преимуществ по сравнению с другими моделями, однако, это не означает исключение применения линейных моделей и матриц. Все модели дополняют друг друга и применяются в тех случаях, где они наиболее целесообразны.

В основе сетевого планирования лежит теория графов. *Графом* называют геометрическую фигуру, состоящую из конечного или бесконечного множества точек и соединяющих эти точки линий. В графе различают точки, называемые вершинами графа, и соединяющие их линии, называемые ребрами, если они не ориентированы и дуги (вектора, стрелки), если имеют направление. Примерами применения графов могут служить различные карты, схемы, диаграммы и т.п. Вершинами в этих случаях являются населенные пункты (в картах), источники электроснабжения и потребители (в электрических схемах) и т.д.

Первая работа по теории графов принадлежала известному Петербургскому академику Л. Эйлеру (1736 г. задача о 7 мостах на реке Прегель). Первая попытка использовать сетевую модель для целей планирования и управления строительством принадлежит американской компании «DUPON de NEMUR» и относится к 1956 г. В 1957 г. к этим работам присоединились исследовательский центр UNIVAC и фирма Remington Rand. К концу 1957 г. этим коллективом был разработан метод критического пути (СРМ - Critical Path Method) (МКП). Вслед за МКП-СРМ для разработки ракетного комплекса «POLARIS» ВМС США разработало систему PERT (Program Evolution and Review Technique - техника оценки и контроль производственных программ). Программа «POLARIS» включала 250 фирм-контракторов и более 9000 - фирм-субконтракторов. В работе над комплексом принимало участие более 3000 КБ, заводов и др. организаций. Сетевой график (СГ) состоял из 100'000 событий. Благодаря применению системы PERT первоначальные сроки ввода удалось сократить на два года. Уже с 1958 г. МКП-СРМ и PERT были применены для важнейших разработок в области военной техники, а затем и в других отраслях хозяйства, в том числе и в строительстве. С 1963 года система стала широко применяться в других странах. В Советском Союзе начало работ по изучению и разработке таких систем относится к 1962 году. Сетевые графики (СГ) были положены в основу системы сетевого планирования и управления производством (СПУ), успешно примененной в 1964 г. при строительстве ряда объектов энергетического, химического, а затем и жилищного строительства.

*Сетевой моделью* - называется ориентированный граф, отражающий последовательность и организационно-технологические взаимосвязи между работами, выполнение которых необходимо для достижения поставленной цели.

Сетевые модели целесообразно использовать в строительстве для решения задач перспективного планирования, определения продолжительности и сроков выполнения основных этапов создания объектов (проектирования, СМР, поставки технологического оборудования, освоения производственной мощности): сложные промышленные и другие комплексы, где участвуют многие организации, а также для планирования капитальных вложений по периодам строительства объекта.

### 13. Классификация сетевых моделей и элементы сетевых графиков

В зависимости от характера объекта строительства, целей и ряда других показателей сетевые модели классифицируют по следующим основным признакам:

1. по *виду целей* – одноцелевые и многоцелевые модели (при строительстве разных объектов одной организацией);
2. по *числу охвата объектов* – частная и комплексная модель (на один объект и на весь комплекс);
3. по *характеру оценок параметров модели* – детерминированные (с заранее и полностью обусловленными данными) и вероятностные (учитывающие влияние случайных факторов);
4. *модели с учетом целевой направленности* – временные, ресурсные, стоимостные.

**Сетевым графиком (СГ)** – называется сетевая модель, представленная графически с рассчитанными временными и ресурсными параметрами.

Существуют два типа СГ:

1. Вершины-Работы (В-Р);
2. Вершины-События (В-С).

В строительстве при построении сетевых графиков типа «В-С» принят способ изображения, при котором дугами (векторами, стрелками) обозначаются работы, а вершинами – результаты выполнения этих работ. Результаты называют событиями.

Элементами СГ при типе «В-С» являются:

**СОБЫТИЕ** – это факт окончания одной или нескольких работ, необходимый и достаточный для начала одной или нескольких следующих работ, не требующий затрат ни времени ни ресурсов.

*Начальное событие* – определяет начало данной работы и является конечным для предшествующих работ (рис. 2: событие №6).

*Конечное событие* – определяет окончание данной работы и является начальным для последующих работ (рис. 2: событие №7).

*Исходное событие* – событие, которое не имеет предшествующих работ в данном СГ.

*Завершающее событие* – событие, которое не имеет последующих работ в данном СГ.

*Сложное событие* – событие, в которое входят или из которого выходят две или более работы (рис. 4: событие №7 и №9).

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

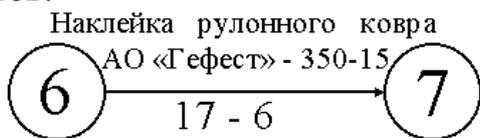


Рис. 2. Обозначение событий и работ на сетевом графике «В-С»

Работу на СГ изображают сплошной стрелкой, длина которой не связана с продолжительностью работы (если СГ составлен не в масштабе времени). Над стрелкой указывают наименование работы (рис. 2: Наклейка рулонного ковра), а под стрелкой – продолжительность работы в рабочих днях (рис. 2: 17 дней)

и при необходимости количество рабочих в день или смену (рис. 2: 6 человек). Над стрелкой можно дополнительно указать: исполнителя работ (рис. 2: АО «Гефест»), объем работ в натуральных показателях (рис. 2: 350 м<sup>2</sup> кровли) и сметную стоимость (рис. 2: 15 тыс. рублей).

**ОЖИДАНИЕ** – это процесс, требующий только затрат времени и не потребляющий никаких материальных ресурсов (рис. 3: 7-8 – ожидание).

Ожидание является технологическим или организационным перерывом между работами, выполняемыми непосредственно друг за другом.

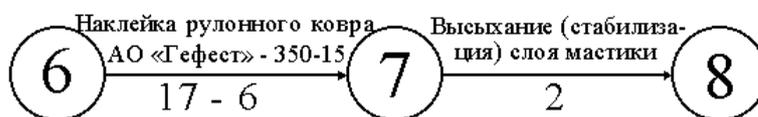


Рис. 3. Обозначение ожиданий на сетевом графике «В-С»

**ЗАВИСИМОСТЬ** (фиктивная работа) – элемент СГ, вводимый для отражения правильной технологической и организационной взаимосвязи работ и не требует ни времени, ни ресурсов (рис. 4: 8-9 – зависимость).



Рис. 4. Обозначение зависимостей (фиктивных работ) на сетевом графике «В-С»

**ПУТЬ** – непрерывная последовательность работ или событий в СГ. Длина пути определяется суммой продолжительностей составляющих его работ (рис. 4: 1 путь: 6-7-9-10; 2 путь: 6-7-8-9-10).

*Полным путем* – называется путь от исходного до завершающего события. Полных путей может быть несколько.

*Предшествующий путь* – это участок полного пути от исходного события до рассматриваемого.

*Последующий путь* – это участок от рассматриваемого события до последующего.

*Критическим путем* – называют полный путь, имеющий наибольшую длину (продолжительность) из всех полных путей. Его длина определяет полный срок выполнения работ по СГ. В графике может быть несколько критических путей. Работы лежащие на критическом пути, называются критическими. Продол-

жительность работ критического пути является определяющей для общей продолжительности работ по СГ.

*Расчетные параметры сетевых графиков (рис. 5.):*

- $I - j$  - код рассматриваемой работы;
- $I$  - код начального события рассматриваемой работы;
- $j$  - код конечного события рассматриваемой работы;
- $h - I$  - код работ, предшествующей рассматриваемой работе;
- $h$  - код событий, предшествующих начальному событию данной работы;
- $j - k$  - код работ, последующих за конечным событием рассматриваемой работы;
- $k$  - код событий, последующих конечному событию рассматриваемой работы;
- $L$  - путь;
- $L_{кр}$  - критический путь;
- $t_L$  - продолжительность пути;
- $T_{Lкр}$  - продолжительность критического пути и критический срок;
- $t_{i-j}$  - продолжительность рассматриваемой работы;
- $T_{i-j}^{PH}$  - раннее начало рассматриваемой работы;
- $T_{i-j}^{PO}$  - раннее окончание рассматриваемой работы;
- $T_i^P$  - ранний срок свершения события  $I$ ;
- $T_{i-j}^{PH}$  - позднее начало рассматриваемой работы;
- $T_{i-j}^{ПО}$  - позднее окончание рассматриваемой работы;
- $T_j^P$  - поздний срок свершения события  $j$ ;
- $R_{i-j}$  - общий (полный) резерв времени рассматриваемой работы;
- $r_{i-j}$  - частный (свободный) резерв времени рассматриваемой работы.



Рис. 5. Нанесение расчетных параметров сетевых моделей на график.

#### 14. Правила построения сетевых графиков. Способы расчета сетевых графиков. Построение сетевых графиков в масштабе времени

Основными правилами построения СГ являются:

1. Направление стрелок в СГ (построение графика) принимают слева направо (рис. 6).

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

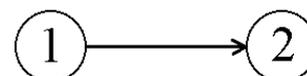


Рис. 6. Построение стрелок на сетевом графике.

3. При выполнении параллельных работ (т.е. если одно событие служит началом двух или более работ, заканчивающихся тоже одним событием) вводится зависимость (рис. 7: работа 2-3) и дополнительное событие (рис. 7: событие 2) (для того, чтобы разные работы не имели одинаковый код).

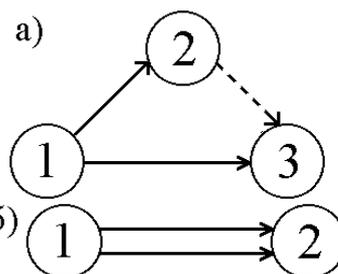


Рис. 7. Построение параллельных работ на сетевом графике:

4. Если те или иные работы начинаются после частичного выполнения предшествующей, то эту работу следует разбить на части. При этом каждая часть работы в графике считается самостоятельной и имеет свои предшествующие и последующие события (рис. 8).

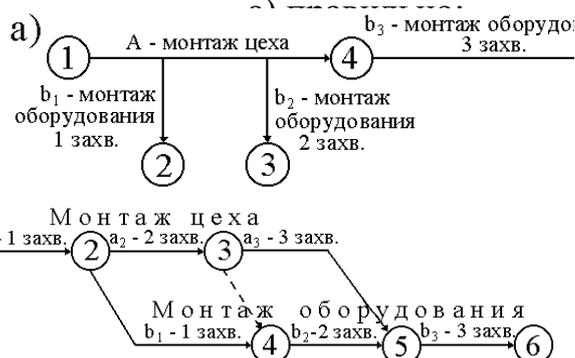


Рис. 8. Разбивка работ на части: а - неправильная; б - правильная.

5. Изображение дифференциально зависимых работ необходимо производить через введение дополнительной зависимости, необходимой и достаточной для начала производства последующих работ.

6. Если после окончания частей двух работ можно начать на этих частях третью работу, а продолжение работ на оставшихся частях зависит только от окончания работ на предшествующих частях, то это изображается двумя зависимостями (рис. 9).



Рис. 9. Изображение зависимости между работами.

7. При изображении поточных работ особое внимание уделяется правильной разбивке работ на захватки и выявлению взаимосвязи смежных работ. При этом на горизонтальном участке СГ можно показывать или однородные работы по всем захваткам, или весь комплекс работ на одной захватке.

8. Укрупнение сетей производится с соблюдением следующих правил:

а) группа работ СГ может изображаться как одна работа, если в этой группе имеется одно начальное и одно конечное событие;

б) укрупнять в одну работу следует только такие работы, которые закреплены за одним исполнителем (бригадой, участком и т.д.);

в) в укрупненную сеть нельзя вводить новые события, которых не было на более детальном графике до укрупнения;

г) наименование работ в укрупненном графике должно быть увязано с наименованием укрупняемых работ;

д) коды событий, которые сохраняются в укрупненном графике, должны быть такими же, как и в детальном графике.

9. В СГ не должно быть «тупиков», «хвостов» и «циклов» (см. рис. 10). «Тупик» - событие (кроме завершающего), из которого не выходит ни одна работа. «Хвост» - событие (кроме исходного), в которое не входит ни одна работа. «Цикл» - замкнутый контур, в котором все работы возвращаются к тому событию, из которого они вышли.

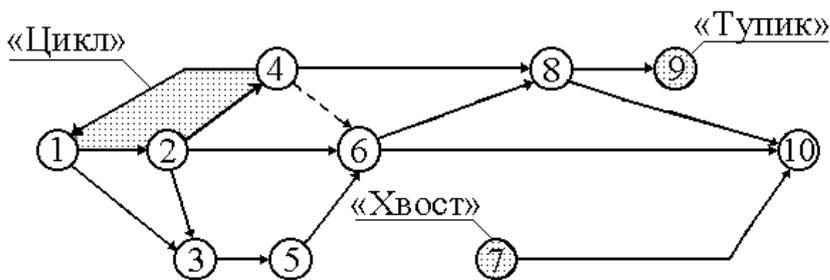


Рис. 10. Пример неправильного построения участка сети с «тупиками», «хвостами» и «циклами».

Если в первоначальном построении обнаружены такие случаи, то это говорит об ошибке в исходных данных и график необходимо пересмотреть.

10. Изображение поставок и других внешних работ (работы, которые предшествуют выполнению тех или иных работ рассматриваемого СГ, но организационно решаются на другом уровне, называют внешними работами) должно осуществляться следующим образом: такие работы выделяются графически (утолщенной стрелкой с двойным кружком (рис. 11). Если кроме работы, для выполнения которой требуется внешняя поставка, из события выходят и другие работы, то стрелку основной работы разрывают и вводят дополнительные события и зависимость.

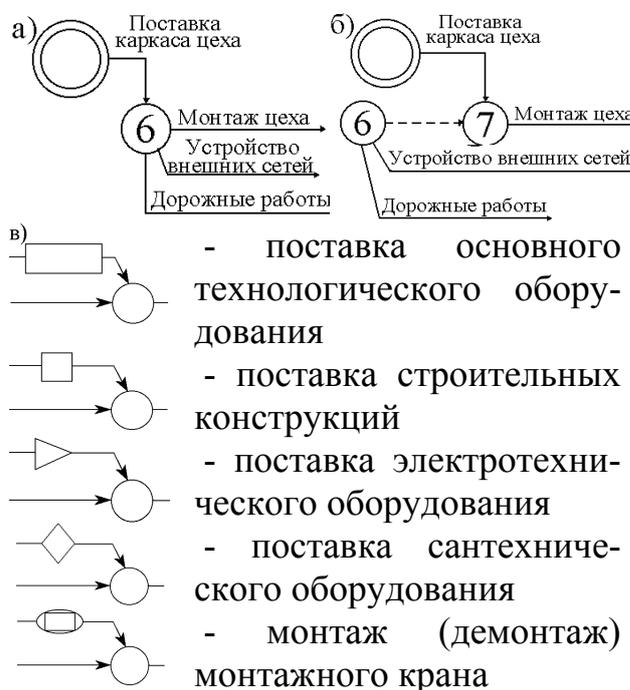


Рис. 11. Изображение внешних работ в сетевом графике: а - неправильное; б - правильное; в - варианты символов внешних поставок и работ.

11. Нумерация (кодирование) событий должна соответствовать последовательности работ во времени, т.е. у предшествующих работ должны быть меньшие номера. Нумерацию событий рекомендуется производить после окончательного построения сети и вести от исходного события (присваивается нулевой или первый номер) горизонтальным или вертикальным методом.

При горизонтальном методе события кодируют слева направо по прямым до первого пересечения работ (рис. 12-а). При вертикальном методе нумерацию начинают сверху вниз и снизу вверх с учетом условия: последующее событие получает номер после предыдущего события (рис. 12-б). Последующее событие нельзя пронумеровать, если не пронумеровано предшествующее ему событие.

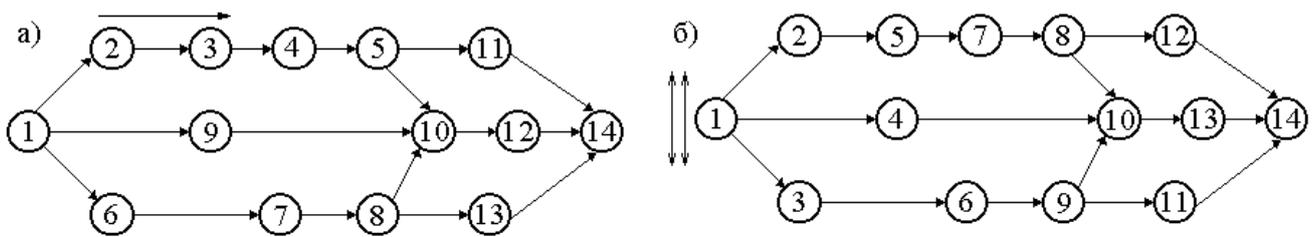


Рис. 12. Схемы кодирования событий: а - горизонтальная; б - вертикальная.

## 15. Способы построения сетевых графиков

Направление построения сети СГ может быть: от исходного к завершающему или от завершающего к исходному событиям, а также можно строить СГ от любого события к исходному и завершающему событиям.

В ходе построения для каждой работы необходимо выяснить:

1. Какие работы необходимо выполнить и какие условия обеспечить, чтобы можно было начать данную работу?
2. Какие работы можно и целесообразно выполнять параллельно с данной работой?
3. Какие работы можно начать только после полного окончания данной работы?

На первой стадии построение сети осуществляют по технологической взаимосвязи работ и определяющих ограничениях по ведущим ресурсам.

После того как составлен первый вариант СГ, проверяют правильность построения и устанавливают имеются ли все предшествующие работы, необходимые для начала последующих работ.

Далее проводится графическое упорядочение сети, чтобы уменьшить количество взаимопересекающихся работ и зависимостей и расположение работ во временной последовательности.

Уровень детализации СГ зависит от сложности строящихся объектов, группировки и количества используемых ресурсов, объемов работ и периода строительства.

## 16. Способы расчета сетевых графиков

Расчет сетевого графика можно производить: аналитическим путем (по работам или по событиям), непосредственно на графике, табличным методом и по потенциалам событий.

### 1. Расчет сетевого графика аналитическим путем.

**Расчет ранних сроков.** Ранние сроки начала и окончания работ и свершения событий СГ рассчитывают начиная от исходного события последовательно по всем путям СГ прямым ходом расчета. В результате этого расчета кроме ранних сроков устанавливают также общую продолжительность работы по графику в целом и по отдельным его участкам.

*Расчет по работам.* Раннее начало работы  $T_{i-j}^{PH}$  - самое раннее из возможных время начала работы - определяют продолжительностью самого длинного пути от исходного события до начального события рассматриваемой работы:

$$T_{i-j}^{PH} = \max\{T_{h-i}^{PO}\} \quad (13)$$

Ранние начала исходных работ равны нулю:

$$T_{i-j}^{PH} = 0 \quad (14)$$

Раннее окончание работы  $T_{i-j}^{PO}$  - время окончания работы (она начата в самый ранний из возможных сроков) - определяют суммой раннего начала и продолжительности данной работы:

$$T_{i-j}^{PO} = T_{i-j}^{PH} + t_{i-j} \quad (15)$$

Ранние окончания исходных работ равны их продолжительности:

$$T_{i-j}^{PO} = 0 + t_{i-j} \quad (16)$$

*Расчет по событиям.* Ранний срок  $T_i^P$  свершения начального события  $i$  определяют максимальной величиной суммы ранних сроков свершения предшествующих событий и продолжительности работ, входящих в данное событие:

$$T_i^P = \max\{T_h^P + t_{h-i}\} \quad (17)$$

Расчет раннего срока  $T_j^P$  свершения конечного события  $j$  работы  $i-j$  выполняют по формуле:

$$T_j^P = \max\{T_i^P + t_{i-j}\} \quad (18)$$

*Расчет поздних сроков.* Расчет поздних сроков окончания и начала работ СГ и свершения событий производят после того, как определены все ранние сроки и общая продолжительность работ. Расчет производят обратным ходом от завершающего события к исходному последовательно по всем путям СГ.

*Расчет по работам.* Позднее окончание работы  $T_{i-j}^{PO}$  - самый поздний из допустимых сроков окончания работы, при котором не увеличивается общая продолжительность работ СГ.

Позднее окончание рассматриваемой работы равно минимальному из сроков поздних начал последующих работ:

$$T_{i-j}^{PO} = \min\{T_{i-k}^{PH}\} \quad (19)$$

Определение позднего начала через позднее окончание основано на том, что расчет ведут от завершающего события, у которого ранние и поздние сроки совпадают ( $T_k^{PH} = T_k^{PO}$ ), поэтому, рассчитав ранние сроки работ, мы установили поздний срок завершающего события:

$$T_{i-k}^{PO} = T_{KP} = \max\{T_{i-k}^{PO}\} \quad (20)$$

Позднее начало работы  $T_{i-j}^{PH}$  - самый поздний из допустимых сроков начала работы, при котором не увеличивается общая продолжительность работ. Позднее начало работы равно разности между величинами ее позднего окончания и продолжительности:

$$T_{i-j}^{PH} = T_{i-j}^{PO} - t_{i-j} \quad (21)$$

*Расчет по событиям.* Поздний срок  $T_j^H$  свершения события  $j$  определяется минимальной величиной из значений разности поздних сроков свершения ко-

нечных событий  $k$  и продолжительности работ, выходящих из данного события  $j$ :

$$T_j^H = \min\{T_k^H - t_{j-k}\} \quad (22)$$

Расчет резерва времени, критического пути и проведение анализа параметров графика проводят по сопоставлению ранних и поздних сроков. Если ранние и поздние сроки совпадают, то работы лежат на критическом пути. Критическими являются те события, на которых совпадают ранние и поздние сроки свершений. Для критических работ соблюдаются следующие условия:

1). Ранние и поздние сроки начала работы, а также и окончания равны:

$$T_{i-j}^{PH} = T_{i-j}^{PH} = T_{i-j}^H; \quad T_{i-j}^{PO} = T_{i-j}^{PO} = T_{i-j}^O \quad (23)$$

При расчете по событиям ранние и поздние сроки свершения событий, ограничивающих данную работу, соответственно равны:

$$T_i^P = T_i^H; \quad T_j^P = T_j^H \quad (24)$$

2). Разность между возможными сроками окончания и начала работы и, соответственно, между сроками свершения конечного и начального событий равна ее продолжительности:

$$T_{i-j}^O - T_{i-j}^H = t_{i-j}; \quad T_j - T_i = T_{i-j} \quad (25)$$

**Общий (полный) резерв времени работы  $R_{i-j}$**  - это максимальное время, на которое можно задержать начало работы или увеличить ее продолжительность без изменения общего срока строительства. Величина  $R_{i-j}$  определяется разностью поздних и ранних сроков начала или окончания работы:

$$R_{i-j} = T_{i-j}^{PH} - T_{i-j}^{PH} = T_{i-j}^{PO} - T_{i-j}^{PO} = T_{i-j}^{PO} - T_{i-j}^{PH} - t_{i-j} \quad (26)$$

При расчете по событиям:

$$R_{i-j} = T_j^H - T_i^P - t_{i-j} \quad (27)$$

**Частный (свободный) резерв времени работы  $r_{i-j}$**  - максимальное количество времени, на которое можно перенести начало работы или увеличить ее продолжительность без изменения раннего начала последующих работ. Это имеет место, когда в событие входят две или более работы, и определяется разностью значений раннего начала последующей работы и раннего окончания данной работы:

$$r_{i-j} = T_{j-k}^{PH} - T_{i-j}^{PO} \text{ и по событиям: } r_{i-j} = T_j^P - T_i^P - t_{i-j} \quad (28)$$

**Пример № 1.** Рассчитать сетевой график аналитическим способом (расчет по работам).

**Решение:**

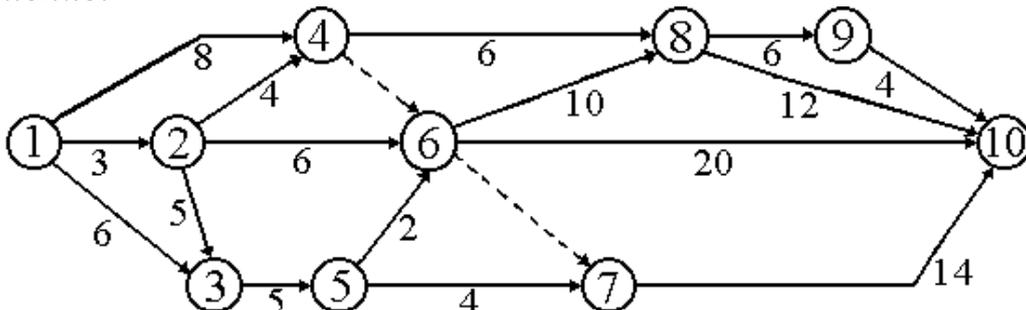


Рис. 13. Пример сетевого графика типа «вершины-события».

1. Ранние начала исходных работ равны нулю (формула 14), т.е.:

$$T_{1-2}^{PH} = T_{1-3}^{PH} = T_{1-4}^{PH} = 0$$

2. Ранние окончания исходных работ равны их продолжительности (формула 16):

$$T_{1-2}^{PO} = 0 + t_{1-2} = 0 + 3 = 3, \quad T_{1-3}^{PO} = 0 + t_{1-3} = 0 + 6 = 6, \quad T_{1-4}^{PO} = 0 + t_{1-4} = 0 + 8 = 8 \text{ и т.д.}$$

3. Раннее начало любой работы находится по формуле 13, для работы 6-7:

$$T_{6-7}^{PH} = \max\{T_{2-6}^{PO}; T_{4-6}^{PO}; T_{5-6}^{PO}\} = \max\{9; 8; 15\} = 15$$

4. Раннее окончание любой работы находится по формуле 15, для работы 6-8:

$$T_{6-8}^{PO} = T_{6-8}^{PH} + t_{6-8} = 15 + 10 = 25$$

5. Позднее окончание работы завершающего события находится по формуле 20, для работ 6-10, 7-10, 8-10, 9-10:

$$T_{6-10}^{PO} = T_{7-10}^{PO} = T_{8-10}^{PO} = T_{9-10}^{PO} = T_{KP} = \max\{T_{6-10}^{PO}; T_{7-10}^{PO}; T_{8-10}^{PO}; T_{9-10}^{PO}\} = \max\{35; 31; 37; 35\} = 37$$

6. Позднее начало любой работы находится по формуле 21, для работы 8-10:

$$T_{8-10}^{PH} = T_{8-10}^{PO} - t_{8-10} = 37 - 12 = 25$$

7. Позднее окончание рассматриваемой работы находится по формуле 19, для работы 6-8:

$$T_{6-8}^{PO} = \min\{T_{8-9}^{PH}; T_{8-10}^{PH}\} = \min\{27; 25\} = 25$$

8. Общий (полный) резерв времени работы находится по формуле 26, для работы 2-4:

$$R_{2-4} = T_{2-4}^{PH} - T_{2-4}^{PO} = T_{2-4}^{PO} - T_{2-4}^{PO} = T_{2-4}^{PO} - T_{2-4}^{PH} - t_{2-4} = 11 - 3 = 15 - 7 = 15 - 3 - 4 = 8$$

9. Частный (свободный) резерв времени работы находится по формуле 28, для работы 2-4:

$$r_{2-4} = T_{4-6}^{PH} - T_{2-4}^{PO} = 8 - 7 = 1.$$

**Пример № 2.** Рассчитать сетевой график аналитическим способом (расчет по событиям) (см. рис. 13).

**Решение:**

1. Ранний срок свершения события 4 определяют по формуле 17:

$$T_4^P = \max\{(T_1^P + t_{1-4}); (T_2^P + t_{2-4})\} = \max\{(0 + 8); (3 + 4)\} = \max\{8; 7\} = 8$$

2. Расчет раннего срока свершения события 8 определяют по формуле 18:

$$T_8^P = \max\{(T_4^P + t_{4-8}); (T_6^P + t_{6-8})\} = \max\{(8 + 6); (15 + 10)\} = \max\{14; 25\} = 25$$

3. Поздний срок свершения события 8 определяется по формуле 22:

$$T_8^H = \min\{(T_9^H - t_{8-9}); (T_{10}^H - t_{8-10})\} = \min\{(33 - 6); (37 - 12)\} = \min\{27; 25\} = 25$$

4. Общий (полный) резерв времени работы находится по формуле 27, для работы 2-4:

$$R_{2-4} = T_4^H - T_2^P - t_{2-4} = 15 - 3 - 4 = 8$$

5. Частный (свободный) резерв времени работы находится по формуле 28, для работы 2-4:

$$r_{2-4} = T_4^P - T_2^P - t_{2-4} = 8 - 3 - 4 = 1$$

## 2. Расчет сети непосредственно на графике.

Расчет сети непосредственно на графике является самым простым и оперативным способом. Расчет сети непосредственно на графике не требует строгого соблюдения кодировки событий и обращения к формулам (рис. 14).

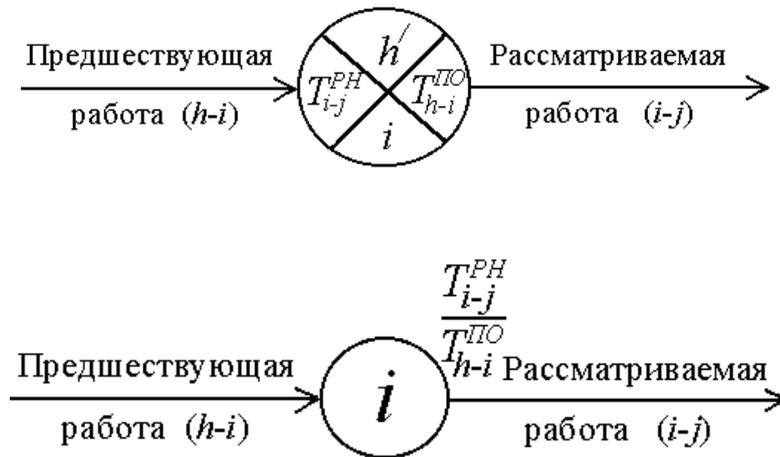


Рис. 14. Порядок расположения параметров сетевых графиков при расчете сети непосредственно на графике: а). при сегментарном способе записи параметров; б). при дробном способе записи параметров;  $h'$  - номер предшествующего события, через которое к данному событию ведет максимальный путь;  $i$  - номер рассматриваемого события;  $T_{i-j}^{PH}$  - раннее начало рассматриваемой работы;  $T_{h-i}^{ПО}$  - позднее окончание предшествующей работы.

Первоначально определяются ранние сроки начала работ сетевого графика. Расчет ведется слева направо от исходного до завершающего события.

Порядок расчета:

1). У исходного события ( $i$ ) в левом секторе (в числителе) ставят нуль (начало работ по СГ принимается равным нулю), у исходных работ СГ нет предшествующих работ, поэтому в верхний сектор ( $h'$ ) также записывают нуль;

2). Для каждого следующего события в левом секторе (числителе) записывают число, равное сумме раннего начала и продолжительности предшествующих работ:

$$T_{i-j}^{PH} = \max\{T_{h-i}^{PH} + t_{h-i}\} \quad (29)$$

3). Если в событие входит две или более работы, то в левый сектор (числитель) записывают большее из значений;

4). В завершающем событии значение из левого сектора (числителя), определяющего длину критического пути, переносят в правый сектор (знаменатель);

5). Значение в правом секторе (знаменателе) определяют, ведя расчет от завершающего события к исходному, вычитая из значения поздних сроков свершения конечного события продолжительность предшествующих им работ:

$$T_{i-j}^{ПО} = \min\{T_{j-k}^{ПО} - t_{j-k}\} \quad (30)$$

Если из события выходят две или более работы, то принимают минимальное значение.

6). Критический путь проходит через события, в которых значения в правом и левом секторах (числителе и знаменателе) совпадают. Полный и частный резерв времени для работ критического пути равен нулю.

7). Общий резерв времени для любой работы определяют вычитанием из значения левого сектора (числителя) конечного события данной работы значения правого сектора (знаменателя) и ее продолжительности:

$$R_{i-j} = T_{i-j}^{ПО} - T_{i-j}^{PH} - t_{i-j} \quad (31)$$

8). Частный резерв для любой работы определяют вычитанием из значения левого сектора (числителя) конечного события данной работы суммы значений левого сектора (числителя) начального события и продолжительности данной работы:

$$r_{i-j} = T_{j-k}^{PH} - (T_{i-j}^{PH} + t_{i-j}) \quad (32)$$

Резервы времени работ и зависимостей записываются на графике под стрелкой: полный резерв слева, свободный справа (см. рис. 15).

**Пример № 3.** Рассчитать сетевую модель непосредственно на графике (при сегментарном способе записи параметров).

**Решение:**

1. Определяем раннее начало работы 2-6 по формуле 29:

$$T_{2-6}^{PH} = \max\{T_{1-2}^{PH} + t_{1-2}\} = \max\{0 + 3\} = 3,$$

а для работы 6-8:

$$T_{6-8}^{PH} = \max\{(T_{2-6}^{PH} + t_{2-6}); (T_{4-6}^{PH} + t_{4-6}); (T_{5-6}^{PH} + t_{5-6})\} = \max\{(3 + 6); (8 + 0); (13 + 2)\} = \max\{9; 8; 15\} = 15$$

2. По формуле 30 находится позднее окончание предшествующей работы, для работы 6-8:

$$T_{6-8}^{ПО} = \min\{(T_{8-9}^{ПО} - t_{8-9}); (T_{8-10}^{ПО} - t_{8-10})\} = \min\{(33 - 6); (37 - 12)\} = \min\{27; 25\} = 25$$

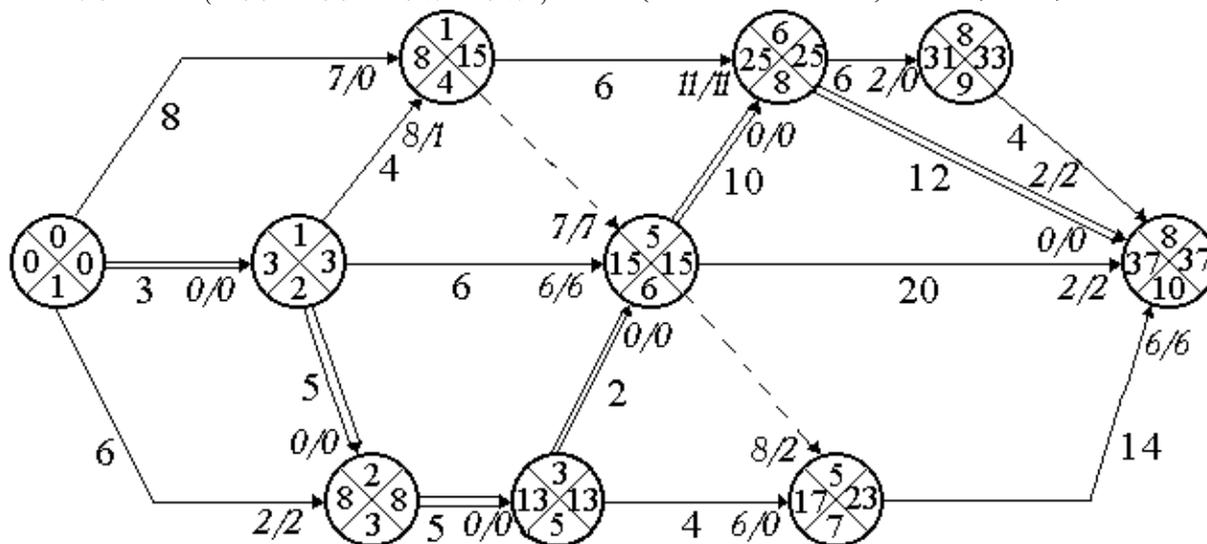


Рис. 15. Пример расчета сетевого графика «вершины-события» при сегментарном способе записи.

3. Общий резерв времени для любой работы определяют по формуле 31, для работы 6-10:

$$R_{6-10} = T_{6-10}^{ПО} - T_{6-10}^{PH} - t_{6-10} = 37 - 15 - 20 = 2$$

4. Частный резерв для любой работы определяют по формуле 32, для работы 6-10:

$$r_{6-8} = T_{8-9}^{PH} - (T_{6-8}^{PH} + t_{6-8}) = 25 - (15 + 10) = 0$$

**Пример № 4.** Рассчитать сетевую модель непосредственно на графике (при дробном способе записи параметров).

**Решение:**

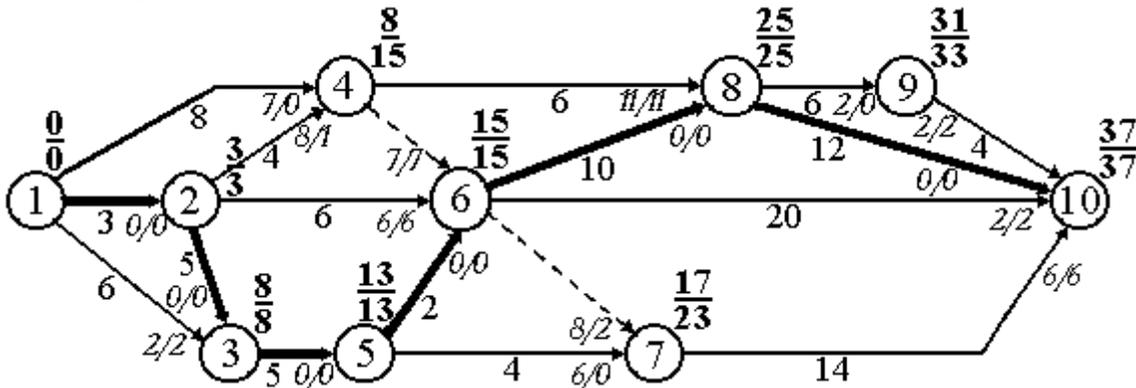


Рис. 16. Пример расчета сетевого графика «вершины-события» при дробном способе записи.

1. По формуле 29 находим раннее начало работы 3-5:

$$T_{3-5}^{PH} = \max\{(T_{2-3}^{PH} + t_{2-3}); (T_{1-3}^{PH} + t_{1-3})\} = \max\{(3 + 5); (0 + 6)\} = \max\{8; 6\} = 8$$

2. По формуле 30 находим позднее окончание работы 2-6:

$$T_{2-6}^{ПО} = \min\{(T_{6-7}^{ПО} - t_{6-7}); (T_{6-8}^{ПО} - t_{6-8}); (T_{6-10}^{ПО} - t_{6-10})\} = \min\{(23 - 0); (25 - 10); (37 - 20)\} = \min\{23; 15; 17\} = 15$$

3. Общий резерв времени для любой работы определяют по формуле 31 для работы 1-4:

$$R_{1-4} = T_{1-4}^{ПО} - T_{1-4}^{PH} - t_{1-4} = 15 - 0 - 8 = 7$$

4. Частный резерв для любой работы определяют по формуле 32 для работы 1-4:

$$r_{1-4} = T_{4-8}^{PH} - (T_{1-4}^{PH} + t_{1-4}) = 8 - (0 + 8) = 0$$

*Построение сетевого графика в масштабе времени.*

Для расчета параметров СГ строят в виде немасштабной модели. Затем необходимо СГ перевести в масштаб времени, т.е. привязать к календарной линейке (см. рис. 17 а, б). Перевод безмасштабного графика на масштаб может быть осуществлен либо при сохранении сетевого метода построения графика путем перечерчивания в масштабе времени, либо переводом СГ в линейный график. График выполняется с такой же левой частью, содержащей все необходимые расчеты, как и у линейного графика. Продолжительность работы определяют горизонтальной проекцией стрелки-работы, а путь - суммой. Масштабный СГ почти всегда строят по ранним срокам.

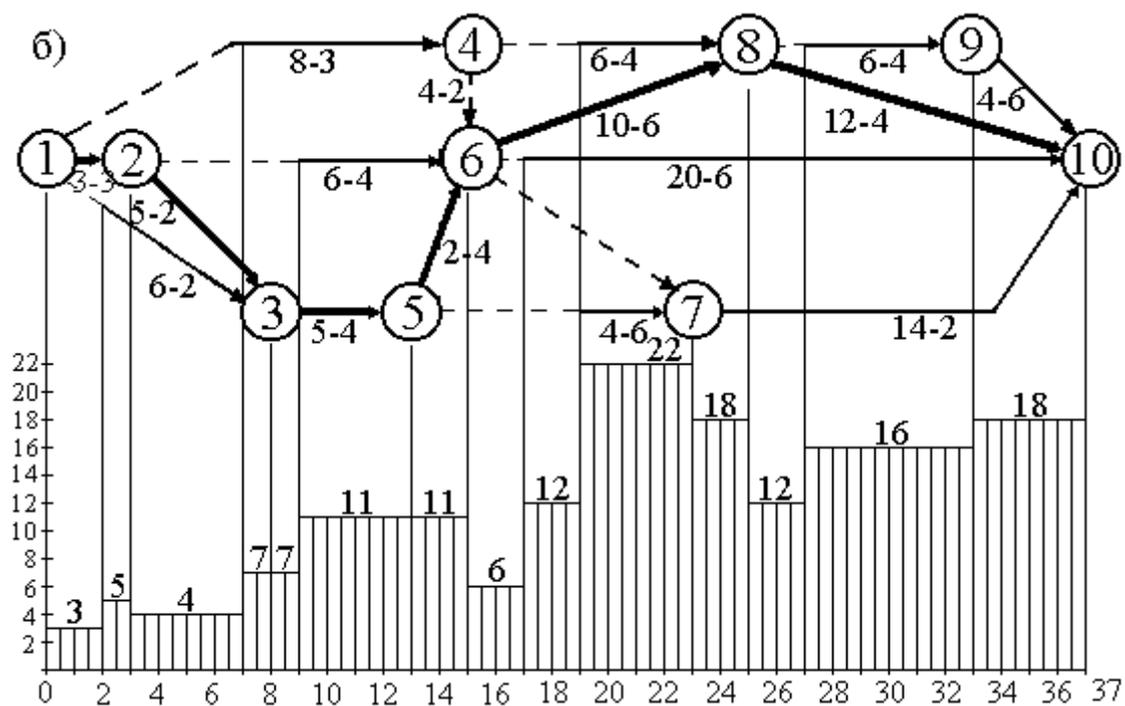
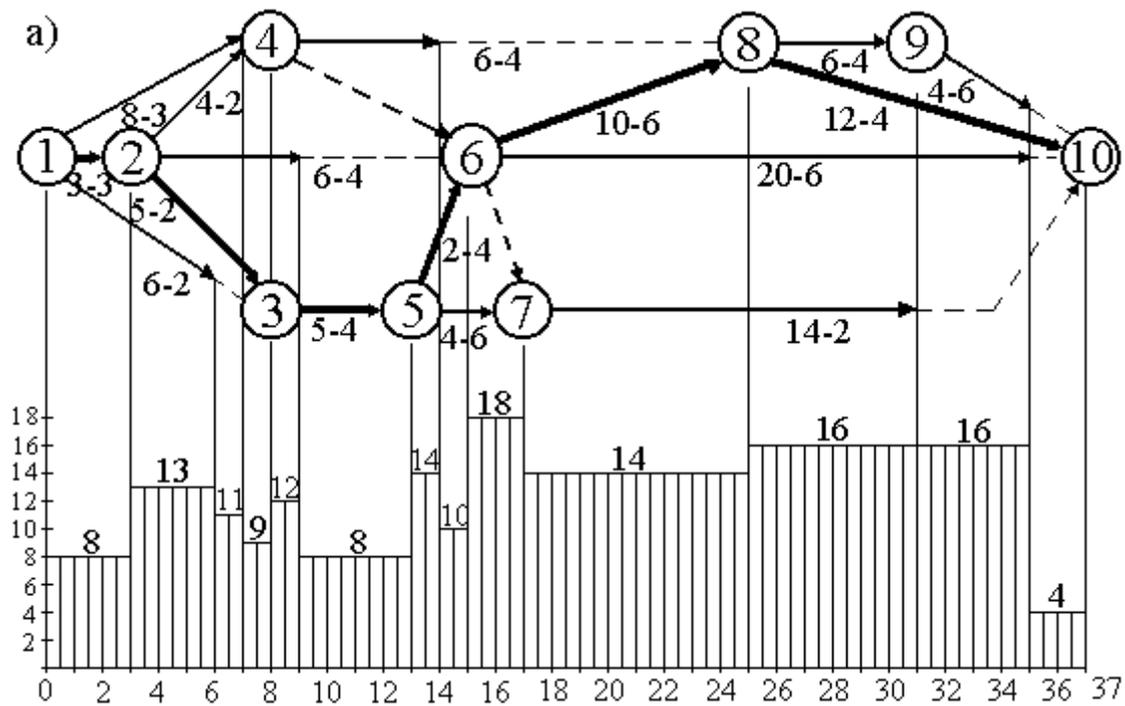


Рис. 17. Построение сетевой модели в масштабе времени и построение графика движения рабочих: а) по ранним началам работ; б) по поздним окончаниям работ

3. Расчет сетевого графика табличным методом.

Для расчета СГ табличным методом необходимо пронумеровать все события согласно следующих правил:

- ☒ исходному событию присваивается первый номер;
- ☒ последующие события получают номера в порядке возрастания от исходного до завершающего;

☒ номер начального события каждой работы должен быть меньше ее конечного события.

После нумерации каждая работа получает свой код, соответствующий номерам ее начального и конечного событий.

Исходные данные из СГ для расчета заносятся в таблицу (графы 1, 2, 3).

Таблица 13.

Расчет параметров сетевого графика табличным методом

Номера начальных событий предшествующих работ	Код работ	Продолжительность работ	Сроки работ				Резервы работ		Отметка критических работ
			ранние		поздние		общий (полный)	частный (свободный)	
			начала работ	окончания работ	начала работ	окончания работ			
$h$	$i - j$	$t_{i-j}$	$T_{i-j}^{PH}$	$T_{i-j}^{PO}$	$T_{i-j}^{PH}$	$T_{i-j}^{PO}$	$R_{i-j}$	$r_{i-j}$	+ / —
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-	1 - 2	$t_{1-2}$	0 или $T_{i-j}^{PH} = \max T_{h-i}^{PO}$	$T_{1-2}^{PO} = T_{1-2}^{PH} + t_{1-2}$	$T_{i-j}^{PH} = T_{i-j}^{PO} - t_{i-j}$	$T_{i=j}^{PO} = \min T_{i=j}^{PO}$	$R_{i-j} = T_{i-j}^{PH} - T_{i-j}^{PO}$ или $R_{i-j} = T_{i-j}^{PO} - T_{i-j}^{PO}$	$r_{i-j} = T_{j-k}^{PH} - T_{i-j}^{PO}$	
			4гр.= $\max 5$ гр.	5гр.=4гр. + 3гр.	6гр.= 7гр.- 3гр.	7 гр.= $\min 6$ гр.	8гр.=6 гр.- 4гр. или 8гр.=7 гр.- 5гр.	9гр.=4г р.-5гр.	
	Последняя работа					$T_{i-j}^{PO} = \max T_{i-3c}^{PO}$ 7гр.= $\max$ х 5гр.			

**Примечание:** знаком «+» помечаются работы критического пути, знаком «—» все остальные работы.

Порядок расчета ранних сроков:

- 1). Раннее начало работ, выходящих из первого события, равно нулю.
- 2). Ранние сроки начала и окончания работ рассчитываются по таблице сверху вниз (↓).

3). Раннее окончание работ равно сумме раннего начала и продолжительности работы:

$$T_{i-j}^{PO} = T_{i-j}^{PH} + t_{i-j} \quad (33)$$

4). Раннее начало последующих работ равно максимальному из ранних окончаний предшествующих работ:

$$T_{j-k}^{PH} = \max\{T_{i-j}^{PO}\} \quad (34)$$

5). Максимальное раннее окончание работ, входящих в завершающее событие, определяет продолжительность критического пути:

$$T_{KP} = \max\{T_{i-3c}^{PO}\} \quad (35)$$

*Порядок расчета поздних сроков:*

1). Поздние сроки начала и окончания работ рассчитываются в таблице снизу вверх (↑).

2). Позднее окончание работы входящей в завершающее событие равно максимальному раннему окончанию работы входящей в завершающее событие (т.е. продолжительности критического пути).

3). Позднее окончание любой работы равно наименьшему позднему началу последующих работ:

$$T_{i-j}^{PO} = \min\{T_{j-k}^{PH}\} \quad (36)$$

4). Позднее начало любой работы определяется разностью между ее поздним окончанием и продолжительностью:

$$T_{i-j}^{PH} = T_{i-j}^{PO} - t_{i-j} \quad (37)$$

*Порядок расчета общих (полных) и частных (свободных) резервов времени:*

1). Общий (полный) резерв времени равен разности поздних и ранних сроков:

$$R_{i-j} = T_{i-j}^{PO} - T_{i-j}^{PH} = T_{i-j}^{PH} - T_{i-j}^{PH} \quad (38)$$

2). У работ критического пути общий (полный) резерв времени равен нулю (они помечаются плюсом; у остальных работ ставится минус).

3). Работы не имеющие общего (полного) резерва не имеют и частного (свободного) резерва.

4). Частный (свободный) резерв времени определяют как разность между ранним началом последующей работы и ранним окончанием данной работы:

$$r_{i-j} = T_{j-k}^{PH} - T_{i-j}^{PO} \quad (39)$$

5). Частный (свободный) резерв времени всегда меньше либо равен ее общему (полному) резерву.

**Пример № 5.** Рассчитать сетевой график табличным методом (см. рис. 13)

**Решение:** 1). Раннее начало исходной работы равно нулю:  $T_{1-2}^{PH} = 0$ .

2). Определяем раннее окончание работы 1-2 по формуле 33:

$$T_{1-2}^{PO} = T_{1-2}^{PH} + t_{1-2} = 0 + 3 = 3$$

3). Определяем раннее начало работы 2-3 по формуле 34:

$$T_{2-3}^{PH} = \max\{T_{1-2}^{PO}\} = 3$$

а для работы 6-7  $T_{6-7}^{PH} = \max\{T_{2-6}^{PO}; T_{4-6}^{PO}; T_{5-6}^{PO}\} = \max\{9; 8; 15\} = 15$

4). После расчета ранних сроков определяется продолжительность критического пути по формуле 35:

$$T_{KP} = \max\{T_{6-10}^{PO}; T_{7-10}^{PO}; T_{8-10}^{PO}; T_{9-10}^{PO}\} = \max\{35; 31; 37; 35\} = 37$$

5). Определяем позднее окончание работы 9-10:

$$T_{9-10}^{ПО} = \max\{T_{i-3c}^{PO}\} = T_{KP} = 37$$

6). Далее определяем позднее начало работы 9-10 по формуле 37:

$$T_{9-10}^{PH} = T_{i-j}^{ПО} - t_{i-j} = 37 - 4 = 33$$

7). После этого определяем позднее окончание работы 8-10, которое также равно:  $T_{8-10}^{ПО} = \max\{T_{i-3c}^{PO}\} = T_{KP} = 37$ , т.к. эта работа содержит в себе завершающее событие, т.е. у нее нет последующей работы.

8). Позднее окончание работы 8-9 находится по формуле 36:

$$T_{8-9}^{ПО} = \min\{T_{9-10}^{PH}\} = 33,$$

а для работы 5-6  $T_{5-6}^{ПО} = \min\{T_{6-8}^{PH}; T_{6-10}^{PH}\} = \min\{15; 17\} = 15$

9). После расчета ранних и поздних сроков работ находят общий (полный) резерв времени по формуле 38:

$$\text{Например, для работы 2-6: } R_{2-6} = T_{2-6}^{ПО} - T_{2-6}^{PO} = 15 - 9 = 6 = T_{2-6}^{PH} - T_{2-6}^{PH} = 9 - 3 = 6$$

10). Далее определяется частный (свободный) резерв времени по формуле 39:

$$\text{Например, для работы 6-7: } r_{6-7} = T_{7-10}^{PH} - T_{6-7}^{PO} = 17 - 15 = 2$$

Таблица 14.

Номера начальных событий предшествующих работ	Код работ	Продолжительность работ	Сроки работ				Резервы работ		Отметка критических работ
			ранние		поздние		общий (полный)	частный (свободный)	
			начала работ	окончания работ	начала работ	окончания работ			
$h$	$i-j$	$t_{i-j}$	$T_{i-j}^{PH}$	$T_{i-j}^{PO}$	$T_{i-j}^{PH}$	$T_{i-j}^{PO}$	$R_{i-j}$	$r_{i-j}$	+ / —
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-	1 - 2	3	0	3	0	3	0	0	+
-	1 - 3	6	0	6	2	8	2	2	+
-	1 - 4	8	0	8	7	15	7	0	—
1	2 - 3	5	3	8	3	8	0	0	+
1	2 - 4	4	3	7	11	15	8	1	—
1	2 - 6	6	3	9	9	15	6	6	—
1, 2	3 - 5	5	8	13	8	13	0	0	+
1, 2	4 - 6	0	8	8	15	15	7	7	—
1, 2	4 - 8	6	8	14	19	25	11	11	—
3	5 - 6	2	13	15	13	15	0	0	+
3	5 - 7	4	13	17	19	23	6	0	—

2, 4, 5	6 - 7	0	15	15	23	23	8	2	—
2, 4, 5	6 - 8	10	15	25	15	25	0	0	+
2, 4, 5	6 - 10	20	15	35	17	37	2	2	—
5, 6	7 - 10	14	17	31	23	37	6	6	—
4, 6	8 - 9	6	25	31	27	33	2	0	—
4, 6	8 - 10	12	25	37	25	37	0	0	+
8	9 - 10	4	31	35	33	37	2	2	—

### 17. Сетевые графики типа «Вершины-Работы»

Элементами СГ типа «В-Р» являются работы и зависимости.

**РАБОТА** - представляет собой определенный производственный процесс, требующий затрат времени и ресурсов для его выполнения (изображается прямоугольником).

**ЗАВИСИМОСТЬ** - показывает организационно-технологическую связь между работами, не требующую затрат ни времени ни ресурсов (изображается стрелкой). Если между работами имеется организационный или технологический перерыв, то на зависимости указывается длительность этого перерыва.

*Сравнение СГ типа «В-Р» и «В-С»*

Преимущества СГ типа «В-Р» перед СГ типа «В-С» заключается в следующем:

1. Отсутствие событий и пунктирных зависимостей позволяет определить взаимосвязи работ до построения СГ по таблице исходных данных. Каждая работа имеет постоянный, неизменный код, что позволяет ввести определяющие коды для разных исполнителей.

2. Введение новых работ и связей, а также исключение ранее существующих, не ведет к изменению СГ.

3. СГ типа «В-Р» адаптированы к стандартам управления и используются в специализированных прикладных пакетах программ по планированию и управлению.

*Расчет сетевого графика типа «Вершины-Работы».*

Для расчета СГ типа «В-Р» работы изображают прямоугольником, разделенным на семь частей: в верхних трех частях записывают раннее начало, продолжительность и раннее окончание работы; центральная часть содержит код и наименование работы; в трех нижних частях указывают позднее начало, резервы времени и позднее окончание (рис. 19).

Последовательность выполнения работ фикс-

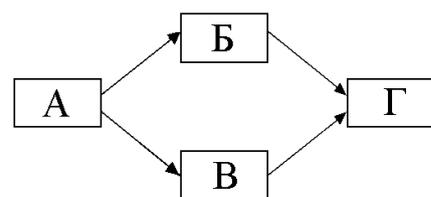


Рис. 18. Вид сетевого графика типа «вершины-работы»

$T_i^{PH}$	$t_i$	$T_i^{PO}$
<b>i</b> - наименование работы		
$T_i^{ПН}$	$R_i / r_i$	$T_i^{ПО}$

Рис. 19. Пример расположения параметров сетевого графика «вершины-работы»

сируют в виде стрелок-связей, которые никакой другой функции не выполняют.

1). Расчет сетевого графика начинается с определения ранних сроков. Раннее начала и окончания вычисляются последовательно от исходной до завершающей работы. Раннее начало исходной работы равно 0, раннее окончание равно сумме раннего начала и продолжительности работы:

$$T_i^{PO} = T_i^{PH} + t_i \quad (40)$$

2). Раннее начало последующей работы равно раннему окончанию предыдущей работы. Если данной работе непосредственно предшествуют несколько работ, то ее раннее начало будет равно максимальному из ранних окончаний предшествующих работ:

$$T_i^{PH} = \max\{T_h^{PO}\} \quad (41)$$

3). Таким образом, определяются ранние сроки всех работ сетевого графика и заносятся в верхние правую и левую части.

4). Раннее окончание завершающей работы определяет продолжительность критического пути.

5). Расчет поздних сроков ведется в обратном порядке от завершающей до исходной работы. Позднее окончание завершающей работы равно ее раннему окончанию, т.е. продолжительности критического пути.

6). Позднее начало определяется как разность позднего окончания и продолжительности:

$$T_i^{PH} = T_i^{PO} - t_i \quad (42)$$

7). Позднее начало последующих работ становится поздним окончанием предшествующих работ. Если за данной работой непосредственно следуют несколько работ, то ее позднее окончание будет равно минимальному из поздних начал последующих работ:

$$T_i^{PO} = \min\{T_k^{PH}\} \quad (43)$$

8). Подобным образом определяются поздние сроки всех работ сетевого графика и записываются в нижние левую и правую части.

9). Полный резерв времени, равный разности поздних и ранних сроков, заносится в числитель середины нижней части:

$$R_i = T_i^{PH} - T_i^{PH} = T_i^{PO} - T_i^{PO} \quad (44)$$

10). Свободный резерв времени, равный разности между минимальным ранним началом последующих работ и ранним окончанием данной работы, записывается в знаменатель середины нижней части:

$$r_i = \min\{T_k^{PH}\} - T_i^{PO} \quad (45)$$

11). Свободный резерв всегда меньше или равен полному резерву работы.

**Пример № 6.** Рассчитать сетевой график «вершины-работы».

**Решение:**

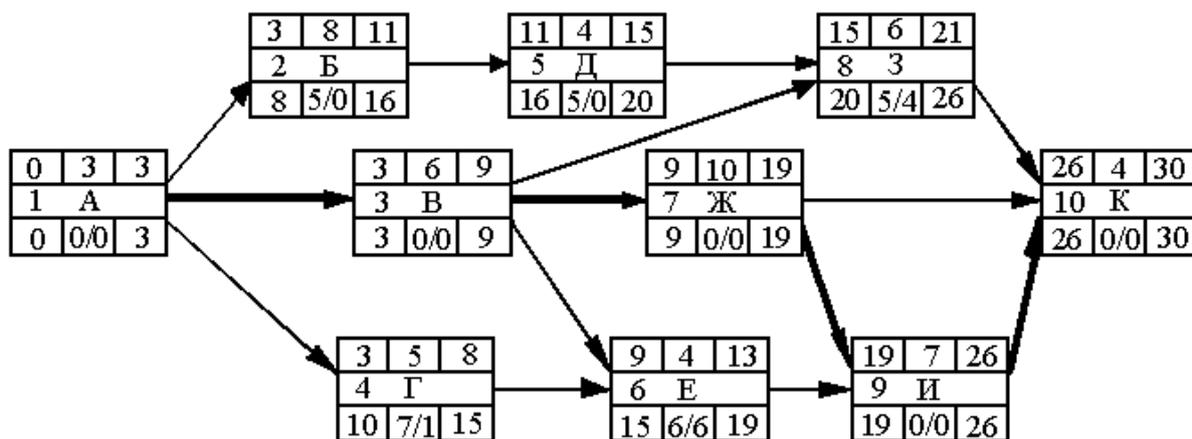


Рис. 20. Пример расчета сетевого графика «вершины-работы»

1). По формуле 40 находим раннее окончание работы 1:

$$T_1^{PO} = T_1^{PH} + t_1 = 0 + 3 = 3$$

2). Раннее начало работы определяется по формуле 41, для работы 8:

$$T_8^{PH} = \max\{T_3^{PO}; T_5^{PO}\} = \max\{9; 15\} = 15$$

3). Позднее начало определяется по формуле 42, для работы 10:

$$T_{10}^{PH} = T_{10}^{PO} - t_{10} = 30 - 4 = 26$$

4). Позднее окончание работ определяется по формуле 43, для работы 3:

$$T_3^{PO} = \min\{T_6^{PH}; T_7^{PH}; T_8^{PH}\} = \min\{15; 9; 20\} = 9$$

5). Полный резерв времени определяется по формуле 44, для работы 4:

$$R_4 = T_4^{PH} - T_4^{PO} = T_4^{PO} - T_4^{PO} = 10 - 3 = 15 - 8 = 7$$

6). По формуле 45 находится свободный резерв времени, для работы 7:

$$r_7 = \min\{T_9^{PH}; T_{10}^{PH}\} - T_7^{PO} = \min\{19; 26\} - 19 = 19 - 19 = 0$$

## 18. Виды корректировок сетевых графиков

Расчет СГ ведут из предположения, что каждая работа обеспечена всеми необходимыми ресурсами. В действительности это не так. Отсутствие тех или иных ресурсов приводит к изменению времени выполнения и последовательности работ. Вся работа руководителя сводится к постоянному анализу использования ресурсов и их перераспределения.

**Корректировкой сети** называют работы по улучшению тех или иных параметров графика за счет распределения и перераспределения ресурсов графика для выполнения задания. Чаще всего СГ корректируют по времени, реже по трудовым или материальным ресурсам.

Анализ СГ начинается со сравнения продолжительности критического пути с нормативной или заданной, если продолжительность превышает нормативную или заданную, то производится корректировка СГ по времени.

**Корректировка по времени**, т.е. сокращение продолжительности критических работ выполняется следующими способами:

1. за счет резервов времени не критических работ и перераспределения ресурсов. *Перераспределение трудовых ресурсов* - это перевод исполнителей, за-

нятых на работах, имеющих резервы времени, на работы, не имеющие резервов (работы критического пути);

2. за счет изменения организационно-технологической последовательности и взаимосвязи работ. *Совмещение технологических процессов во времени;*

3. за счет привлечения дополнительных ресурсов для параллельного выполнения работ. *Увеличение сменности, привлечение дополнительной рабочей силы, более производительных машин и механизмов и др. ресурсов;*

4. изменение проектных решений. *Проведение мероприятий, увеличивающих уровень индустриализации:*

⊗ Повышение уровня сборности зданий и сооружений - применение прогрессивных железобетонных и облегченных сборных конструкций заводского изготовления с высокой степенью готовности, развитие производственной базы по выпуску таких конструкций;

⊗ Расширение комплексной механизации строительных процессов и внедрение автоматизации в строительное производство;

⊗ Совершенствование организации труда и производства на научной основе;

⊗ Технологическое проектирование;

⊗ Использование новых (прогрессивных) строительных материалов и технологий.

**Корректировка по ресурсам.** Для корректировки СГ по ресурсам его переводят в масштаб времени по ранним началам работ. На основании полученного графика строят эпюры потребности в ресурсах, определяют потребность в единицу времени и сравнивают с фактическим наличием. Для получения требуемого размера потребления ресурса изменяют сроки начала и окончания работ или увеличивают их продолжительность в пределах резервов времени. Целями корректировки СГ по ресурсам являются:

1). Рациональное распределение ограниченных ресурсов;

2). Снижение уровня максимального потребления ресурсов в единицу времени;

3). Уменьшение неравномерностей потребления ресурсов (ликвидация  $\max$  и  $\min$ ).

Уменьшение неравномерностей потребления ресурсов выполняется на графике потребления ресурсов, чаще всего в качестве ресурса выступает человек, поэтому на графике движения рабочих.

Коэффициент неравномерности рабочих кадров рассчитывается на основании построенного графика движения рабочих. Идеальный график движения рабочих показан на рис. 21 для него основной период работы значительно больше суммы периодов развертывания и свертывания строительства:

$$T_{ОСН} \gg (T_{РАЗВ.} + T_{СВ.})$$

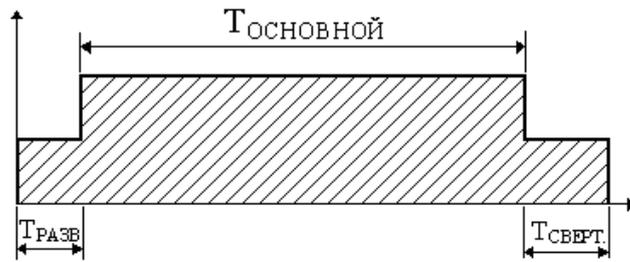


Рис. 21. Идеальный график потребления ресурса.

Каждый график движения рабочих характеризуется тремя коэффициентами:

$K_1$  - коэффициент неравномерности использования рабочих:

$$K_1 = \frac{A_{\max}}{A_{CP}} \leq 1,5, \quad (46)$$

где  $A_{\max}$  - максимальное количество работающих (см. график движения рабочих);  $A_{CP}$  - среднее количество человек, находится по формуле:

$$A_{CP} = \frac{\Sigma T}{\Pi}, \quad (47)$$

где  $\Sigma T$  - суммарная трудоемкость выполнения работ, определяемая как площадь графика движения рабочих, чел.-дни;  $\Pi$  - продолжительность выполнения работ, дни.

При построении графиков выделяют форму графиков с кратковременными пиками и долговременными впадинами.

График с кратковременными пиками - это график на котором наблюдается резкий скачок численности рабочих на небольшом промежутке времени (рис. 22).

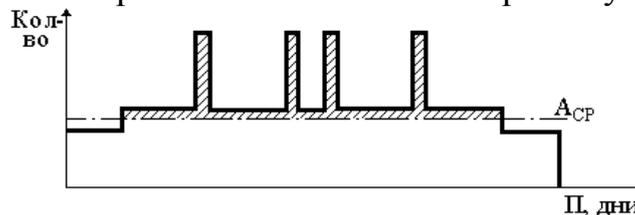


Рис. 22. Пример графика с кратковременными пиками.

Данный график характеризуется коэффициентом  $K_2$ :

$$K_2 = \frac{T_{ИЗБ.}}{\Sigma T}, \quad (48)$$

где  $T_{ИЗБ.}$  - эта трудоемкость, которая располагается выше линии  $A_{CP}$ .

При рациональном использовании ресурса коэффициент  $K_2$  стремится к нулю.

График с долговременными впадинами - это график, где наблюдается уменьшение численности рабочих на длительном отрезке времени (рис. 23).

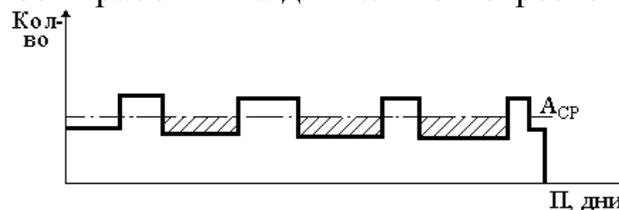


Рис. 23. Пример графика с долговременными впадинами

Данный график характеризуется коэффициентом  $K_3$ :

$$K_3 = \frac{T_{\text{НЕД.}}}{\Sigma T} \quad (49)$$

где  $T_{\text{НЕД.}}$  - эта трудоемкость, которая располагается между графиком и линией  $A_{\text{CP}}$ .

При рациональном использовании ресурса коэффициент  $K_3$  также стремится к нулю.

Выравнивание графика потребности в рабочих кадрах по объекту в целом достигается путем перераспределения сроков начала и окончания работ. Но это выравнивание является относительным и выполняется только в пределах рациональной технологической последовательности выполнения работ.

**Пример № 7.** Выполнить корректировку сетевого графика.

**Решение:**

1). По результатам расчета сетевого графика (рис.15) строим по ранним началам работ линейный график и график движения рабочих (рис. 24);

2). Для построенной ресурсной диаграммы вычисляем коэффициенты неравномерности потребления ресурса (формулы 46 – 49), т.е. коэффициенты неравномерности использования рабочих:

$$A_{\text{CP}} = \frac{\Sigma T}{n} = \frac{8 \cdot 3 + 13 \cdot 3 + 11 \cdot 1 + 9 \cdot 1 + 12 \cdot 1 + 8 \cdot 4 + 14 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 18 \cdot 2 + 14 \cdot 8 + 16 \cdot 10 + 4 \cdot 2}{37} =$$

$$= \frac{467}{37} = 12,62 \approx 13, \quad K_1 = \frac{A_{\text{max}}}{A_{\text{CP}}} = \frac{18}{13} = 1,38 \leq 1,5$$

$$K_2 = \frac{T_{\text{ИЗБ.}}}{\Sigma T} = \frac{1 \cdot 1 + 5 \cdot 2 + 1 \cdot 8 + 3 \cdot 10}{467} = \frac{49}{467} = 0,105$$

$$K_3 = \frac{T_{\text{НЕД.}}}{\Sigma T} = \frac{5 \cdot 3 + 2 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 5 \cdot 4 + 3 \cdot 1 + 9 \cdot 2}{467} = \frac{63}{467} = 0,135$$

3). Пунктирные линии на графике показывают резервы времени работ, т.е. в этих пределах возможно перемещение работы. После каждого перемещения работы или нескольких работ строится график движения рабочих (рис. 25) и вновь рассчитываются коэффициенты неравномерности потребления ресурса:

$$A_{\text{CP}} = \frac{\Sigma T}{n} = \frac{6 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 9 \cdot 4 + 13 \cdot 1 + 12 \cdot 5 + 14 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 12 \cdot 8 + 14 \cdot 2 + 16 \cdot 6 + 18 \cdot 4 + 12 \cdot 2}{37} =$$

$$= \frac{469}{37} = 12,62 \approx 13, \quad K_1 = \frac{A_{\text{max}}}{A_{\text{CP}}} = \frac{18}{13} = 1,38 \leq 1,5$$

$$K_2 = \frac{T_{\text{ИЗБ.}}}{\Sigma T} = \frac{1 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 3 \cdot 6 + 5 \cdot 4}{469} = \frac{41}{469} = 0,09$$

$$K_3 = \frac{T_{\text{НЕД.}}}{\Sigma T} = \frac{7 \cdot 2 + 5 \cdot 1 + 4 \cdot 4 + 1 \cdot 5 + 3 \cdot 1 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 2}{469} = \frac{53}{469} = 0,113$$

4). Для дальнейшей корректировки графика можно увеличить продолжительность работ в пределах резервов времени:

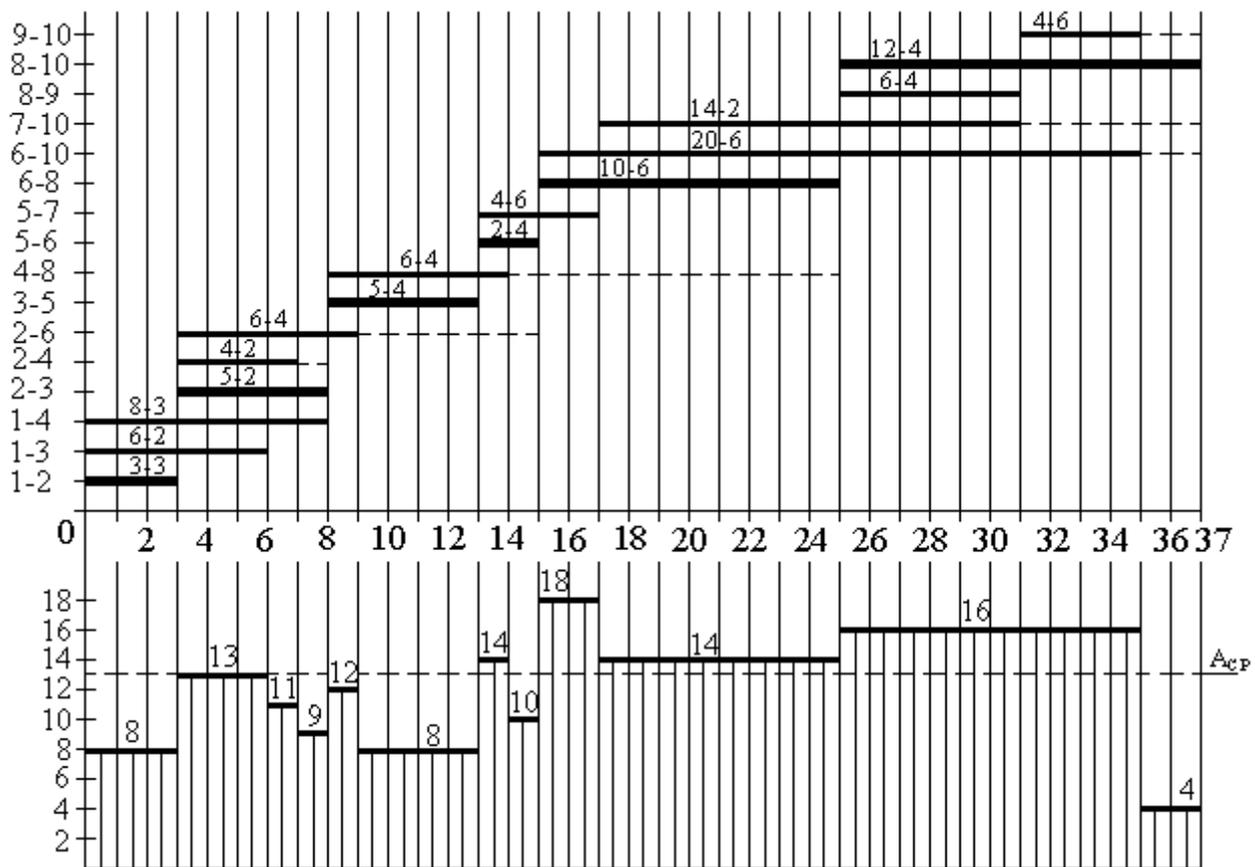


Рис. 24. Линейный график выполнения работ (по ранним началам) и график движения рабочих.

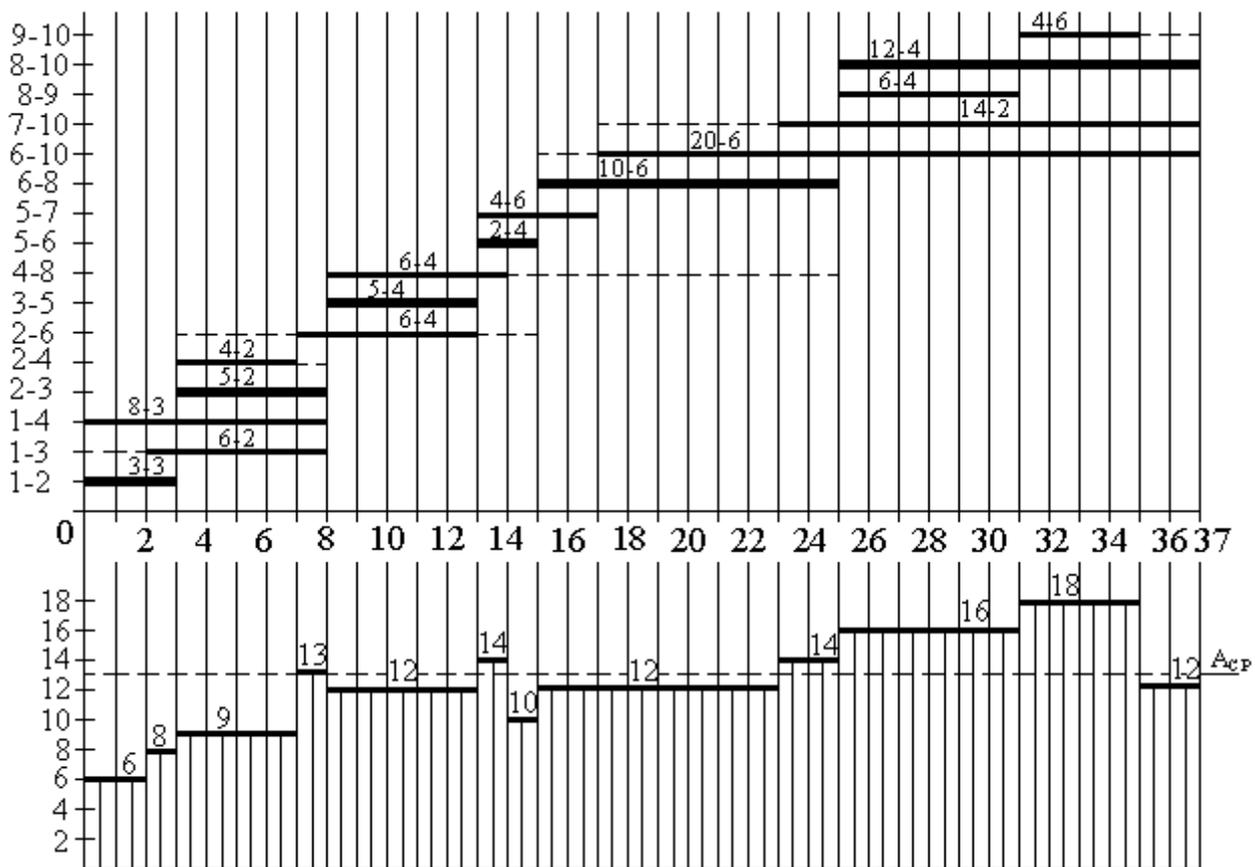


Рис. 25. Линейный график выполнения работ по ранним началам и график движения рабочих после выполнения корректировки.

а) увеличиваем продолжительность работы 9-10 с 4 дней до 6 дней (в пределах резерва времени), из формулы продолжительности выполнения работ находим число рабочих:

$$П = \frac{T}{n \cdot m}, \quad (50)$$

где  $T$  - трудоемкость работы, чел. дн.;  $n$  - число смен, шт.;  $m$  - число рабочих в смену, чел.

Для работы 9-10 трудоемкость  $T=4 \cdot 6=24$  чел. дня, продолжительность работы  $П=6$  дней, число смен  $n=1$ , тогда  $m = \frac{T}{n \cdot П} = \frac{24}{1 \cdot 6} = 4$  человека.

б) увеличиваем продолжительность работы 2-6 с 6 дней до 12 дней (в пределах резерва времени).

Для работы 2-6 трудоемкость  $T=6 \cdot 4=24$  чел. дня, продолжительность работы  $П=12$  дней, число смен  $n=1$ , тогда  $m = \frac{T}{n \cdot П} = \frac{24}{1 \cdot 12} = 2$  человека.

в) увеличиваем продолжительность работы 2-4 с 4 до 5 дней (в пределах резерва времени).

Для работы 2-4 трудоемкость  $T=4 \cdot 2=8$  чел. дней, продолжительность работы  $П=5$  дней, число смен  $n=1$ , тогда  $m = \frac{T}{n \cdot П} = \frac{8}{1 \cdot 5} = 1,6 \approx 2$  человека.

г) уменьшаем продолжительность работы 4-8 с 6 до 5 дней (в пределах резерва времени).

Для работы 4-8 трудоемкость  $T=6 \cdot 4=24$  чел. дня, продолжительность работы  $П=5$  дней, число смен  $n=1$ , тогда  $m = \frac{T}{n \cdot П} = \frac{24}{1 \cdot 5} = 4,8 \approx 5$  человек.

д) перемещаем работу 7-10 к раннему началу, не изменяя ее продолжительность.

5). После всех расчетов строим вновь откорректированный график и также вычисляем коэффициенты неравномерности использования рабочих (рис. 26):

$$A_{CP} = \frac{\Sigma T}{n} = \frac{6 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 11 \cdot 10 + 12 \cdot 4 + 14 \cdot 8 + 16 \cdot 6 + 14 \cdot 6}{37} = \frac{470}{37} = 12,7 \approx 13 \text{ человек}$$

$$K_1 = \frac{A_{\max}}{A_{CP}} = \frac{16}{13} = 1,23 < 1,5$$

$$K_2 = \frac{T_{\text{изб.}}}{\Sigma T} = \frac{1 \cdot 8 + 3 \cdot 6 + 1 \cdot 6}{470} = \frac{32}{470} = 0,068$$

$$K_3 = \frac{T_{\text{нед.}}}{\Sigma T} = \frac{7 \cdot 2 + 5 \cdot 1 + 2 \cdot 10 + 1 \cdot 4}{470} = \frac{43}{470} = 0,09$$

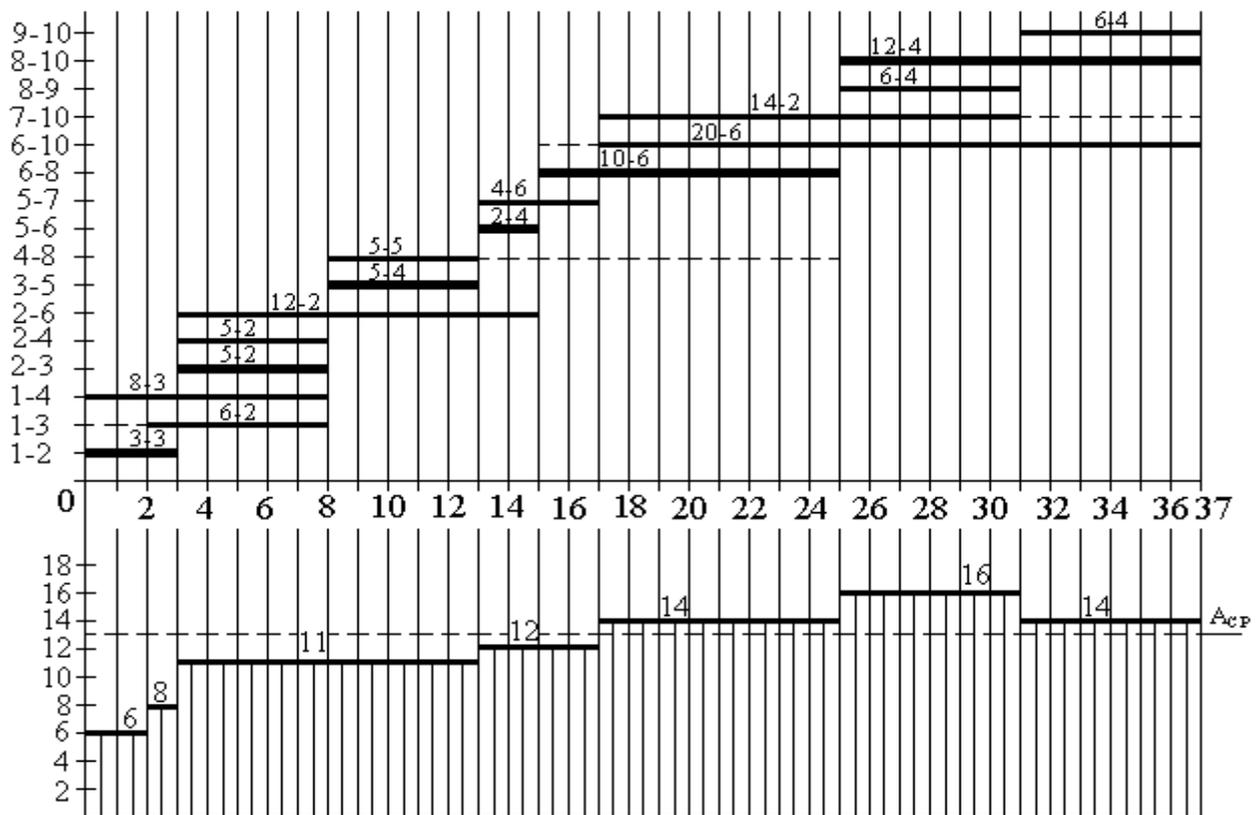


Рис. 26. Линейный график выполнения работ по ранним началам и график движения рабочих после второго этапа выполнения корректировки.

## 19. Виды сетевых графиков в составе ПОС и ППР. Порядок разработки и этапы применения сетевых графиков

### Классификация СГ в составе ПОС и ППР.

В зависимости от количества независимых целей сети могут иметь одно (одноцелевые) или несколько завершающих событий (многоцелевые).

По степени охвата программы сети подразделяют на локальные (для отдельных видов работ и исполнителей), комплексные (на отдельные объекты) и комплексные (на комплексы объектов).

В состав ПОС входят **комплексные укрупненные сетевые графики** (КУСГ), которые разрабатывают на строительство отдельных крупных объектов и комплексов. КУСГ включает работы подготовительного и основного периода строительства зданий и сооружений. Основными этапами его разработки являются:

1. сбор исходных данных: укрупненные виды работ (этапы), их трудоемкость и сметная стоимость;
2. разработка исходного КУСГ, в который по каждому объекту включаются основные этапы работ (подготовительные, строительно-монтажные и пусконаладочные);
3. расчет и анализ полученных расчетных параметров КУСГ;
4. корректировка графика с учетом установленных целевых задач, заданных сроков их реализации, мощности организаций, участвующих в процессе строительства.

В состав ППР входят **комплексные сетевые графики** (КСГ), которые составляют на отдельные объекты. КСГ разрабатывается на основе решений, при-

нятых в ПОС и с большей детализацией, чем КУСГ. Исходными данными для разработки КСГ являются:

1. утвержденная ПСД, включая ПОС;
2. рабочие чертежи и сметы;
3. локальные СГ;
4. данные о возможностях строительных, специализированных и других организаций;
5. данные о поставке конструкций, деталей, изделий и технологического оборудования;
6. данные о технологии и организации строительного производства аналогичных объектов;
7. данные о составе бригад, типах строительных машин и других потребных ресурсах;
8. действующие нормативные документы.

При разработке КСГ первоначально составляется **карточка-определитель работ СГ**

Разработанный и согласованный со всеми исполнителями КСГ утверждается руководством генподрядчика. Ответственными исполнителями КСГ являются непосредственные руководители работ.

### **Карточка-определитель работ СГ**

Объект \_\_\_\_\_

Организация-исполнитель \_\_\_\_\_

№ П/П	Код (шифр) работ	Наименование работ по графику	Объем работ		Трудоемкость		Состав бригады		Основные машины		Сметная стоимость	Число смен в день	Продолжительность работы
			ед. изм.	кол-во	чел.-дн.	маш.-см.	профессия	кол-во чел. в см.	Наименование	кол-во			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

КСГ применяется для оперативного управления ходом строительства, начинающегося с выдачи заданий исполнителям и заканчивающимся сдачей объекта в эксплуатацию. Процесс оперативного управления состоит из ряда последовательных процедур:

1. оценка фактического состояния работ;
2. подготовка и передача оперативной информации;
3. систематизация поступившей информации и внесение корректив в СГ;
4. расчет параметров СГ с учетом внесенных изменений;
5. сверка расчетного и фактического состояния строительства;
6. формирование и моделирование возможных вариантов выполнения работ на оставшийся период, выбор оптимального варианта;
7. составление плановых заданий с учетом оптимального варианта выполнения работ.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:**

1. Назовите организационно-технологические модели строительного производства.
2. Что такое сетевая модель и сетевой график?
3. Назовите достоинства и недостатки сетевых моделей.
4. Дайте классификацию сетевых моделей.
5. Перечислите элементы и параметры сетевых графиков.
6. Правила построения сетевых графиков.
7. Объясните аналитический, графический и табличный способы расчета сетевых графиков.
8. Принципы построения сетевых графиков в масштабе времени.
9. Назовите виды корректировок сетевых графиков.
10. Виды сетевых графиков в составе ПОС и ППР.
11. Порядок разработки и этапы применения сетевых графиков.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Серов В. М. Организация и управление в строительстве: учеб. пособие для вузов. - М: Академия, 2008.
2. Болотин С. А. Организация строительного производства : учеб. пособие для вузов. - М: Академия, 2007.
3. Юзефович А. Н. Организация и планирование строительного производства: учеб. пособие. - М: АСВ, 2004.
4. Серов В. М. Организация и управление в строительстве: учеб. пособие для вузов. - М: Академия, 2006.
5. Дикман Л. Г. Организация строительного производства: Учебник для вузов . - М: АСВ, 2002.
6. Бузырев В.В. Планирование на строительном предприятии: Учеб. пособие для вузов. - М: Академия, 2005.
7. Гранов Г.С. Экономико-математическое моделирование в решении организационно-управленческих задач в строительстве: учеб. пособие для вузов . - М: АСВ, 2001.
8. Науменко И.Х. Проектирование поточной организации производства строительных работ: учеб. пособие для вузов. - М: АСВ, 2008.
9. Юзефович А.Н. Организация, планирование и управление строительным производством (в вопросах и ответах). - М: АСВ, 2009.
10. Организация строительного производства. Учебник для вузов. - М.: АСВ, 1999.
11. СП 48.13330-2011. Организация строительства.
12. СН 508-78. Инструкция по организации и комплексному осуществлению в городах поточного строительства жилых домов, объектов культурно-бытового назначения и коммунального хозяйства. - М.: ИС. - 1978.

**ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ  
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ  
ПО ПОТОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА**

Выбор параметров для выполнения расчетно-графической работы осуществляется по номеру зачетной книжки (студенческого билета). Средняя цифра соответствует варианту общего числа фронтов работ (захваток, участков, объектов); предпоследняя - варианту количество выполняемых процессов в потоке (число видов работ или исполнителей); последняя цифра - варианту ритм (шаг) потока; первые две, соответственно, вариантам технологических и организационных перерывов.

**$t_{mex}$     $t_{opr}$     $n$     $m$     $t$**

Наим. показат.	Цифра зачетной книжки (студенческого билета)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>n</b>	4	5	6	7	8	9	10	4	5	6
<b>m</b>	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9
<b>t<sub>1</sub></b>	3	4	5	6	7	8	3	4	5	6
<b>t<sub>2</sub></b>	7	8	3	4	5	6	7	8	3	4
<b>t<sub>3</sub></b>	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8
<b>t<sub>4</sub></b>	3	4	5	6	7	8	3	4	5	6
<b>t<sub>5</sub></b>	7	8	3	4	5	6	7	8	3	4
<b>t<sub>6</sub></b>	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8
<b>t<sub>7</sub></b>	3	4	5	6	7	8	3	4	5	6
<b>t<sub>8</sub></b>	7	8	3	4	5	6	7	8	3	4
<b>t<sub>9</sub></b>	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8
<b>t<sub>10</sub></b>	3	4	5	6	7	8	3	4	5	6
<b>t<sub>I</sub></b>	3	8	4	7	5	6	3	8	4	7
<b>t<sub>II</sub></b>	5	6	3	8	4	7	5	6	3	8
<b>t<sub>III</sub></b>	4	7	5	6	3	8	4	7	5	6
<b>t<sub>IV</sub></b>	3	8	4	7	5	6	3	8	4	7
<b>t<sub>V</sub></b>	5	6	3	8	4	7	5	6	3	8
<b>t<sub>VI</sub></b>	4	7	5	6	3	8	4	7	5	6
<b>t<sub>VII</sub></b>	3	8	4	7	5	6	3	8	4	7
<b>t<sub>VIII</sub></b>	5	6	3	8	4	7	5	6	3	8
<b>t<sub>IX</sub></b>	4	7	5	6	3	8	4	7	5	6
<b>t<sub>X</sub></b>	3	8	4	7	5	6	3	8	4	7
<b>t<sub>rex2</sub></b>	1	-	2	-	3	-	3	-	2	-
<b>t<sub>rex4</sub></b>	-	3	-	1	-	1	-	2	-	1
<b>t<sub>rex6</sub></b>	2	-	3	-	1	-	2	-	3	-
<b>t<sub>rex8</sub></b>	-	1	-	2	-	3	-	1	-	2
<b>t<sub>rex3</sub></b>	3	-	1	-	2	-	1	-	1	-
<b>t<sub>rex5</sub></b>	-	2	-	3	-	2	-	3	-	3
<b>t<sub>rex7</sub></b>	1	-	3	-	3	-	3	-	2	-
<b>t<sub>rex9</sub></b>	-	3	-	1	-	1	-	2	-	1
<b>t<sub>oprI</sub></b>	2	-	2	-	1	-	2	-	3	-
<b>t<sub>oprIII</sub></b>	-	1	-	2	-	3	-	1	-	2
<b>t<sub>oprV</sub></b>	3	-	1	-	2	-	1	-	1	-
<b>t<sub>oprII</sub></b>	-	2	-	3	-	2	-	3	-	3
<b>t<sub>oprIV</sub></b>	1	-	3	-	3	-	3	-	2	-

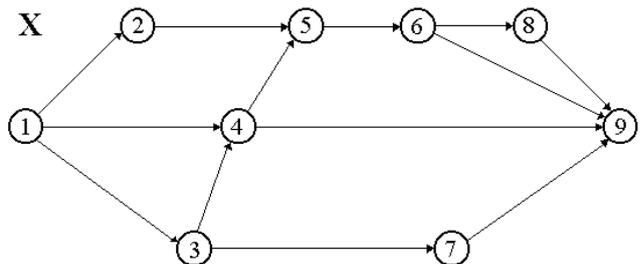
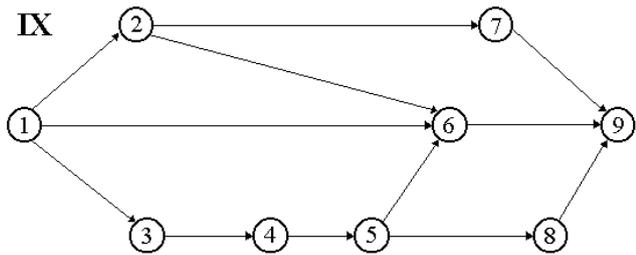
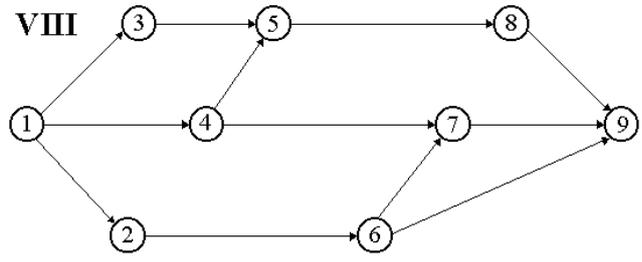
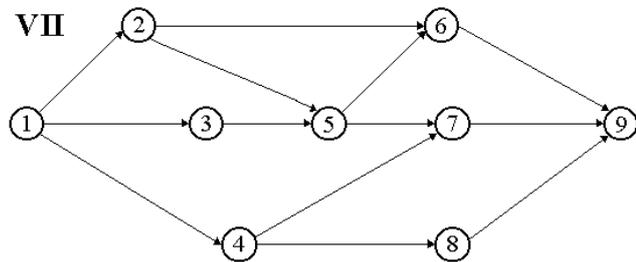
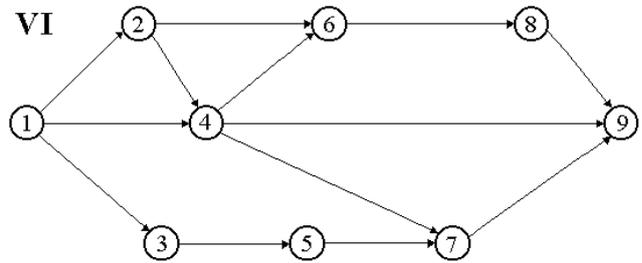
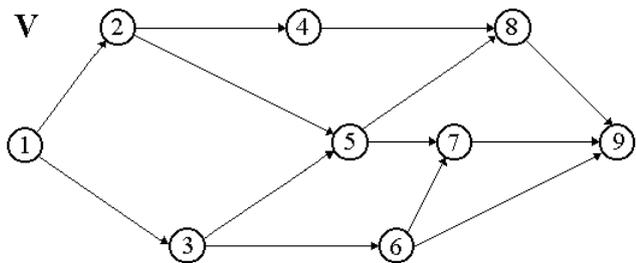
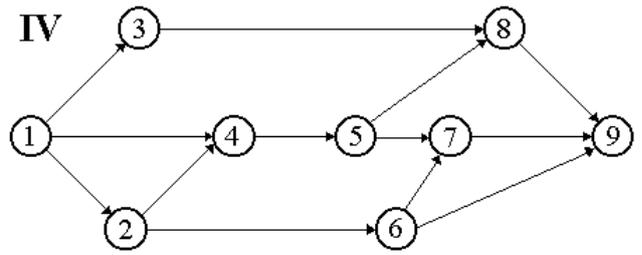
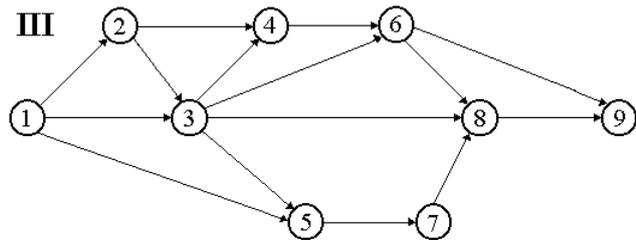
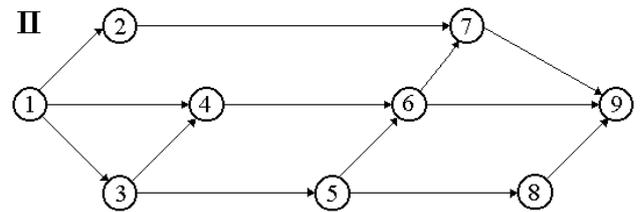
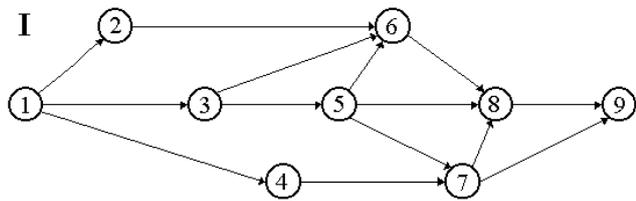
## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ ПО СЕТЕВОМУ ПЛАНИРОВАНИЮ

Выбор параметров для выполнения расчетно-графической работы осуществляется по номеру зачетной книжки (студенческого билета). Средняя цифра соответствует ресурсу - составу исполнителей (числу человек, выполняющих данную работу); предпоследняя - продолжительности выполнения данной работы в днях; последняя цифра - номеру схемы.



Наим. Показ.	Цифра зачетной книжки (студенческого билета)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ схемы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<i>Продолжительность работ, дни (предпоследняя цифра зачетной книжки)</i>										
1-2	2	4	6	3	1	5	7	2	4	3
1-3	4	7	12	2	3	4	9	5	8	4
1-4	6	20	10	6	8	14	2	10	15	10
1-5	12	2	3	10	10	5	15	20	7	3
2-3	5	6	7	20	7	6	8	2	9	15
2-4	7	10	6	13	20	3	5	14	2	6
2-5	20	5	9	4	4	7	6	6	10	8
2-6	4	15	16	6	10	20	2	7	6	2
2-7	8	4	3	2	2	4	20	8	16	10
3-4	3	12	2	8	6	1	3	3	3	4
3-5	8	6	6	12	8	10	8	6	9	10
3-6	5	10	7	6	2	11	5	9	2	8
3-8	2	8	2	10	16	5	12	3	6	1
4-5	10	4	8	4	3	8	6	4	3	5
4-6	12	8	6	5	6	12	2	5	12	6
4-7	4	10	6	8	9	9	7	12	6	12
4-8	9	2	14	4	7	6	8	2	16	4
4-9	6	15	15	5	9	3	7	10	8	9
5-6	9	7	3	2	10	2	5	8	3	17
5-7	4	1	4	17	5	8	9	7	10	4
5-8	10	6	9	8	3	4	4	3	9	6
6-7	2	20	12	9	7	2	12	4	5	10
6-8	5	7	5	14	2	9	4	12	8	7
6-9	3	9	3	6	9	12	3	5	12	5
7-8	1	4	10	4	12	4	14	7	4	14
7-9	10	8	3	10	5	15	9	2	6	2
8-9	3	6	7	2	16	3	2	16	10	9
<i>Ресурс, человек (средняя цифра зачетной книжки)</i>										
1-2	6	6	3	6	2	4	6	4	6	4
1-3	8	3	2	8	4	8	4	5	4	4
1-4	4	2	4	4	6	4	6	2	5	6
1-5	2	5	7	2	5	5	5	4	4	6
2-3	4	4	3	4	6	4	6	6	6	6
2-4	3	2	4	6	2	6	4	4	4	4
2-5	2	3	3	8	6	4	6	3	6	6
2-6	10	4	6	6	3	2	4	3	6	4
2-7	4	6	6	4	6	6	2	5	4	6
3-4	6	2	4	6	4	3	6	4	8	6
3-5	2	6	2	2	2	4	5	6	6	5
3-6	2	2	3	4	6	6	2	3	4	6

<b>3-8</b>	6	4	6	6	6	4	2	5	3	4
<b>4-5</b>	2	6	4	8	6	3	4	4	5	3
<b>4-6</b>	2	3	2	6	8	2	6	6	2	6
<b>4-7</b>	4	5	4	2	5	3	5	6	6	4
<b>4-8</b>	3	8	4	6	3	4	4	4	4	4
<b>4-9</b>	4	2	3	3	3	6	2	3	3	6
<b>5-6</b>	3	3	5	8	6	4	6	8	6	6
<b>5-7</b>	2	4	6	7	4	6	4	4	2	8
<b>5-8</b>	4	4	3	4	6	6	4	6	6	2
<b>6-7</b>	6	2	2	3	3	2	2	7	7	4
<b>6-8</b>	3	6	4	4	6	8	4	2	6	6
<b>6-9</b>	2	3	5	6	6	2	8	2	4	3
<b>7-8</b>	6	6	6	4	2	6	4	8	4	2
<b>7-9</b>	4	2	6	6	4	5	6	2	4	7
<b>8-9</b>	6	4	3	6	4	4	4	6	6	6



Пример оформления титульного листа расчетно-графической работы:

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Департамент научно-технологической политики и образования  
ФГБОУ ВПО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Архитектурно-строительный факультет

кафедра «Технология, организация и экономика строительства»

**Расчетно-графическая работа № \_\_\_\_\_**

по дисциплине «**Календарное планирование проектирования и строительства**»:

РГР принята к проверке на кафедре:

№ \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_ г.

\_\_\_\_\_  
(подпись ответственного)

РГР проверена и передана студенту  
для исправления:

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_ г.

\_\_\_\_\_  
(подпись преподавателя)

Количество ошибок \_\_\_\_\_

Дата и оценка защиты РГР:

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_ г.

\_\_\_\_\_  
(зачтено, удовлетворительно, хорошо, отлично)

\_\_\_\_\_  
(подпись преподавателя)

Выполнил(а) студент(ка)

\_\_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_ курса

архитектурно-строительного фа-  
культета:

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

№ зачётной книжки \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(подпись студента)

Каравеево-201\_\_

*Учебно-методическое издание*

**Календарное планирование проектирования и строительства** : методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство» очной формы обучения / сост. Ю.Ю. Дубровина, С.В. Цыбакин. — Караваево : Костромская ГСХА, 2015. — 62 с.

Методические указания издаются в авторской редакции.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Костромская государственная сельскохозяйственная академия" 156530, Костромская обл., Костромской район, пос. Караваево, уч. городок, д. 34, КГСХА

Компьютерный набор. Подписано в печать 10/04/2015.  
Заказ №199. Формат 84х60/16. Тираж 100 экз. Усл.  
печ. л. 3,84. Бумага офсетная. Отпечатано 04/06/2015.  
Цена 28,00 руб.

Отпечатано с готовых оригинал-макетов в академической типографии на цифровом дубликаторе.  
Качество соответствует предоставленным оригиналам.  
вид издания: авторская редакция (редакция от 8.04.2015 № 205 тит)

Цена 28,00 руб.



2015\*199