

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
Севастопольский государственный университет

## **СЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к проведению практического занятия по дисциплинам  
«Производственный (операционный) менеджмент» и  
«Экономическое обоснование проектных решений при управлении  
ИТ-предприятием» для студентов по направлениям:  
38.03.02 – «Менеджмент»,  
09.03.02 – «Информационные системы и технологии»  
всех форм обучения

Севастополь  
2015

Методические указания к проведению практического занятия по теме «Сетевые методы планирования и управления производством» для студентов по направлениям: 38.03.02 – «Менеджмент», 09.03.02 – «Информационные системы и технологии» всех форм обучения/ СГУ; сост. Г.А. Раздобреева, Н.В. Юрченко. - Севастополь: Изд-во СГУ, 2015, – 55 с.

Методические указания подготовлены с целью оказания помощи студентам при изучении правил построения и методов расчета сетевых графиков, а также получения представления о возможности использования этих методов в практике планирования и менеджмента.

Методические указания могут быть использованы для проведения практических занятий для студентов направлений 38.03.02 и 09.03.02.

Методические указания утверждены на заседании кафедры менеджмента организации, протокол №10 от 8 сентября 2015г.

Допущено учебно-методическим центром СГУ в качестве методических указаний.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. МО Троценко В.В.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы .....	4
2. Теоретический раздел .....	4
3. Расчет сетевой модели .....	12
4. Оптимизация сетевого графика .....	31
5. Индивидуальное расчетно-практическое задание .....	38
6. Содержание отчета .....	49
7. Набор типовых задач .....	49
8. Контрольные вопросы .....	54
Библиографический список .....	55

## **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Цель работы:

- ознакомить студентов с сущностью сетевого планирования и управления производством;
- проводить расчеты сетевой модели графическим и табличным методом с использованием Excel (Word);
- уметь выполнять оптимизацию сетевого графика;
- сформировать логику принятия управленческих решений в системе планирования.

## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

### **2.1 Сущность сетевого планирования и управления**

В современных условиях производственно-хозяйственной деятельности от руководителей любого уровня требуется: научная обоснованность планирования как основной функции менеджмента, оперативность в управлении и проведении контроля над ходом работ, своевременное и гибкое реагирование на факторы внутреннего и внешнего окружения среды предприятия, умелое маневрирование резервами в зависимости от важности и первоочередности работ.

В таких условиях одного опыта и таланта руководителя явно недостаточно, так как в рыночных условиях возникла необходимость наряду с графиком Ганта использовать и другие методы планирования, а именно сетевой метод (система СПУ), который позволяет:

- координировать деятельность всех исполнителей;
- оценивать обоснованность сроков выполнения работ;
- совершенствовать планирование и материально-техническое снабжение, обоснованно прогнозировать выполнение планируемых работ, своевременно принимать меры к предупреждению возможных срывов;
- правильно определять потребные материальные и людские ресурсы для реализации планов;
- концентрировать внимание руководителей на наиболее важных участках, которые определяют длительность всей работы;
- применять ЭВМ в управлении.

Перечисленным требованиям отвечает система сетевого планирования и управления (система СПУ), позволяющая на основе сетевого и структурного графика планировать и управлять производственно-хозяйственной деятельностью.

## **Преимущества и недостатки сетевого планирования**

Сетевое планирование заставляет точно продумывать выполнение проекта. Сетевой график делает наглядным все взаимосвязи работ, минимизируется срок выполнения проекта. Сетевой график позволяет контролировать все «узкие места» и оценить влияние различных задержек на срок выполнения проекта.

Методы сетевого планирования и управления позволяют сосредоточиться на важнейших для выполнения проекта моментах. При этом требуется, чтобы работы были взаимно независимы, то есть в пределах определенной последовательности работ можно начинать, приостанавливать, исключать работы, а также выполнять одну работу независимо от другой работы. Все работы должны выполняться в определенной последовательности. Поэтому методы сетевого планирования и управления широко применяются в строительстве, самолетостроении и судостроении, а также в промышленных отраслях с быстро меняющимися тенденциями.

Основная проблема при использовании сетевого планирования – это оценка времени выполнения работ. Очень часто резервное время неоправданно расходуется на отдельные работы, что грозит изменением критического пути.

Скептическое отношение к методам сетевого планирования и управления часто основывается на их стоимости, которая может составлять около 5 % общей стоимости проекта. Но эти расходы обычно полностью компенсируются экономией, достигаемой с помощью более точного и гибкого графика, а также сокращения сроков выполнения проекта.

### **2.2 «Основные понятия»**

Сетевое планирование – это метод планирования работ, операции в которых, как правило, не повторяются (например: разработка новых продуктов, строительство зданий, ремонт оборудования, проектирование новых работ).

Сетевой моделью называется графическое изображение процессов, выполнение которых необходимо для достижения одной или нескольких целей, с указанием взаимосвязей между этими процессами.

Сетевым графиком называется график производства работ с установленными расчетами сроками их выполнения. Сетевой график представляет собой сетевую модель с рассчитанными параметрами.

Элементами сетевого графика являются: работа, поставка, событие, путь.

Различают следующие виды работ:

Действительная работа - трудовой процесс, требующий затрат времени и ресурсов, Например: монтаж оборудования, разработка проекта, проведение наблюдений и т.д.

Ожидание - это такая работа, которая не требует затрат труда и ресурсов, но требует затрат времени, примером ожидания может быть проветривание бетона, обеденный перерыв.

Зависимость - это “фиктивная” работа, она представляет собой логическую связь между двумя или несколькими событиями, зависимость не требует ни затрат времени, ни ресурсов. Она указывает только, что возможность начала одной работы зависит от результатов другой.

Действительная работа и ожидание изображаются на графике сплошной стрелкой (рис.2.1а), зависимость - пунктирной (рис.2.1б). Работа кодируется номерами двух событий: предшествующего и последующего. На рисунке 2.1 - работа 1-2. Работа не может быть начата, если не выполнены предшествующие ей работы.

Длина и направление стрелок на сетевом графике не связана с продолжительностью работ. Продолжительность работы в единицах времени приставляется под стрелкою, наименование работы - над стрелкой.

Следующим характерным для сетевого графика элементом является событие. Под событием понимается факт, результат окончания одной или нескольких работ, необходимый и достаточный для начала последующих работ.

Событие изображается на графике кружком с номером. Различают событие как результат свершения одной работы (рис.2.2а) и событие (суммарное) как результат свершения нескольких работ (рис.2.2б).



Рисунок 2.1



Рисунок 2.2

Событие может быть результатом необходимым и достаточным для

начала одной работы (рис. 2.3а) или для начала нескольких работ (рис. 2.3б). Событие, за которым непосредственно следует данная работа, называется начальным. Событие, которому непосредственно предшествует данная работа, называется конечным.

Основными свойствами события является отсутствие протяженности во времени. В сетевом графике имеют место два особых события, которые обладают всеми свойствами, - это исходное и завершающее события. Исходное событие не является следствием, результатом работ, входящих в сеть. Завершающее событие – не является условием, необходимым для начала ни одной из работ.

При разработке сетевого графика к формулировке события предъявляется ряд требований. Прежде всего, она должна быть полной, т.е. в ней должны быть перечислены все стороны и обстоятельства, характеризующие результат, далее, определение должно быть точным и выраженным в терминах результатом. Например, запрещается применять такие слова, как «исследование», «конструирование», «испытание». Эти слова означают действие – работу. В определении события следует использовать слова: «исследовано», «испытано», «инструкция разработана».



Рисунок 2.3

Следующим элементом сетевого графика является поставка. Поставка материалов, конструкций, оборудования (в том случае если ей не предшествовала работа, обеспечивающая ее) изображается, как показано на рис 2.4. Двойной кружок на рисунке изображает поставку.

Четвертым элементом сетевого графика является путь. Путь - это непрерывная последовательность работ в сетевом графике. Понятие пути распространяется на любую последовательность работ по направлению стрелок. Путь наибольшей длины определяется суммой продолжительности его работ. Критический путь - путь наибольшей длины между исходным и завершающим событиями. Продолжительность критического пути определяет срок окончания всего комплекса работ.

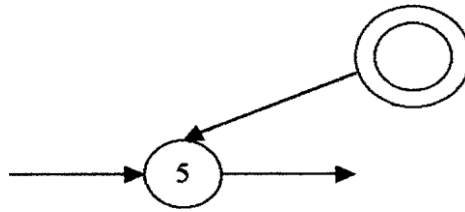


Рисунок 2.4

Значение понятия критического пути определяется тем, что полная продолжительность разработки равна продолжительности критического пути. Если продолжительность разработки необходимо сократить, т.е. нужно сокращать, прежде всего, продолжительность критического пути. Если при традиционном планировании, желая ускорить разработку, сокращали продолжительность всех или большинства работ, то анализ критического пути позволяет выделить те немногие работы, от которых действительно зависит срок окончания комплекса работ. Опыт использования системы "Ре", являющейся первой системой сетевого управления, разработанной в США, показал, что не более 10% всех работ сети принадлежит критическому пути.

Любой полный путь, за исключением критического, имеет резерв времени в продолжительности выполнения работ. Можно провести аналогию между понятиями "критический путь" и "узкое место" в производственной сущности предприятия. Узкое место - это такой участок производства, пропускная способность которого меньше, чем пропускная способность любого другого участка производства.

### 2.3 Правила построения сетевых моделей

При составлении сетевых моделей необходимо пользоваться следующими основными правилами:

**Правило 1** (Рис. 2.5): Если работы А, В, С выполняются последовательно, то на схеме они изображаются так:

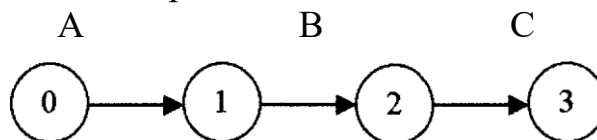


Рисунок 2.5

**Правило 2** (Рис. 2.6): Если для выполнения работ А и В необходим результат работы С, то на схеме это изображается так:



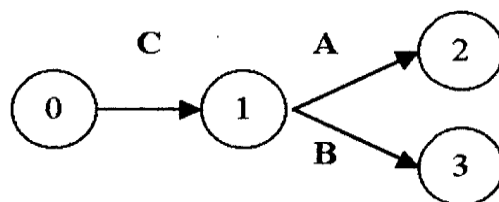


Рисунок 2.6

**Правило 3** (Рис. 2.7): Если для заполнения работы С необходим результат работ 4 и 3, то на схеме это изображается так:

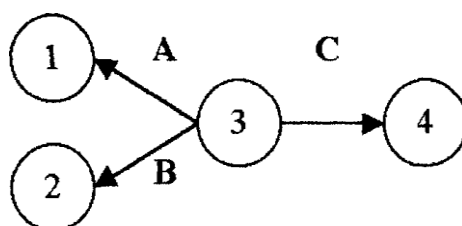


Рисунок 2.7

**Правило 4** (Рис. 2.8): Если в процессе выполнения работы начинается работа В, использующая результат некоторой части работы А, то работа А разбивается на две: А<sub>1</sub> - работа от начала до выдачи промежуточного результата, т.е. до начала работы В, и А<sub>2</sub> - оставшаяся часть работы А. На схеме это изображается так:

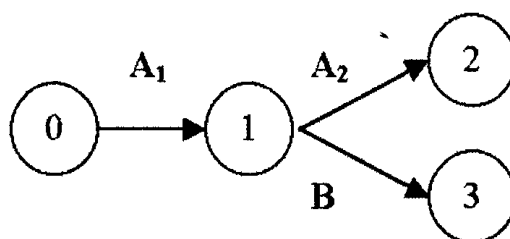


Рисунок 2.8

**Правило 5** (Рис. 2.9): Если работы А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, .... А<sub>п</sub> начинаются и кончаются одними и теми же событиями, то для установления взаимно-однозначного соответствия между этими работами и кодами необходимо ввести п-1 фиктивных работ. Они не имеют продолжительности во времени и вводятся в данном случае лишь для того, чтобы работы А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, .... А<sub>п</sub> имели разные коды. На схеме этот случай изобразится так:

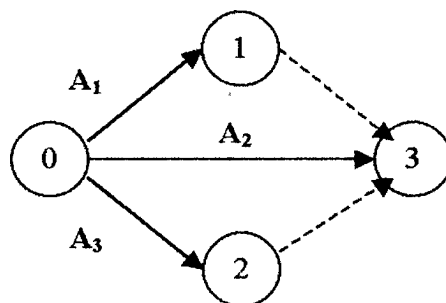


Рисунок 2. 9

**Правило 6** (Рис. 2.10): Если работа С следует за двумя параллельно ведущимися работами А и 3, а работа Д следует только за работой В, то такая ситуация изобразится на схеме путем введения фиктивной работы Л:

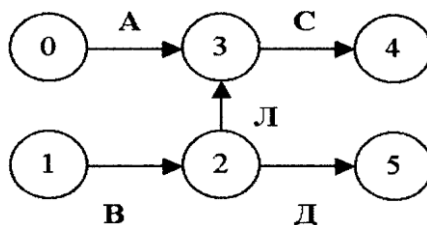


Рисунок 2.10

**Правило 7** (Рис. 2.11): Если не должно быть событий, в которые не входит ни одной работы, кроме исходного события. Если это правило нарушено и в сети, кроме исходного, появилось еще одно событие, в которое не входит ни одна работа - это означает либо ошибку при построении сетевого графика, либо упущение при планировании работы, результат которой необходим в дальнейшем (см. рис. 2.11, событие 3 и работа Г).

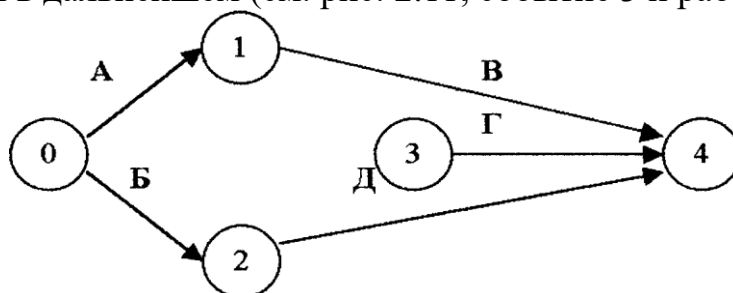


Рисунок 2.11

**Правило 8** (Рис. 2.12): В сети не должно быть событий, из которых не выходит ни одной работы, кроме завершающего события. Если это правило нарушено и в сети, кроме завершающего, появилось еще одно событие, из которого не выходит ни одной работы, это означает либо ошибку

при построении сетевого графика, либо планирование ненужной работы Б (рис 2.12) результат которой ничего не интегрирует

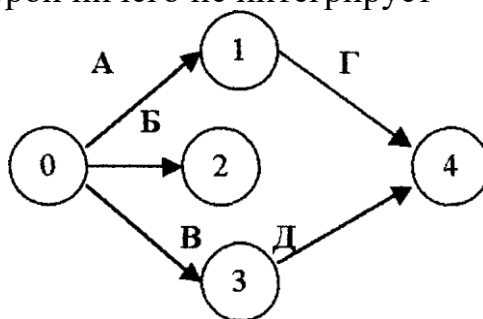


Рисунок 2.12

**Правило 9** (Рис. 2.13а, б): События следует нумеровать так, чтобы номер начального события данной работы был меньше номера конечного события этой работы:

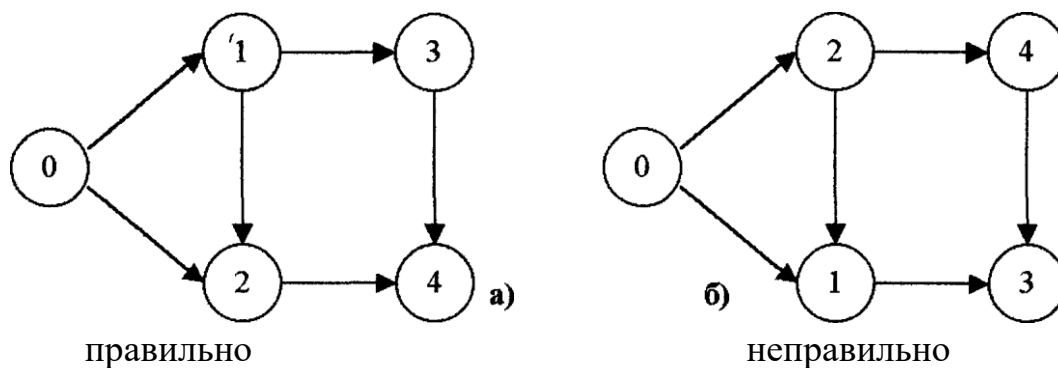


Рисунок 2.13

**Правило 10:** В цепи не должно быть замкнутого контура.

### 3. РАСЧЕТ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

#### 3.1 Графический метод расчета параметров сетевой модели

При расчете сетевой модели графическим методом определяются следующие параметры:

- возможный ранний срок свершения события –  $t_{pi}$ ;
- допустимый поздний срок свершения события –  $t_{ni}$ ;
- резерв времени события –  $P_i$ ;
- резервы времени работы: полный -  $P_{nij}$ ;
- свободный -  $P_{cij}$  ;
- частный резерв первого вида –  $P'_{nij}$ ;
- частный резерв второго вида –  $P''_{nij}$ ;
- продолжительность критического пути -  $t_{кр}$ , события и работы, лежащие на критическом пути –  $L_{кр}$ .

Расчет параметров сети производится непосредственно на графике. Кружочки, обозначающие на сетевом графике события, вычерчиваются диаметром 15-25 мм и делятся на четыре сектора.

В нижнем секторе записывается номер события 1. В левом и правом секторах соответственно ранний  $t_{pi}$  и поздний  $t_{ni}$  сроки свершения события (рис.3.1). В верхнем секторе записывается резерв события.

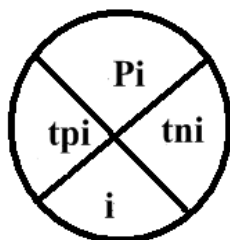


Рисунок 3.1

Резервы работ проставляются под стрелкой, изображающей данную работу (рис. 3.2)

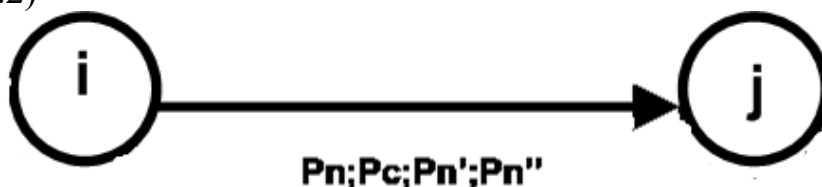


Рисунок 3.2

Определение ранних сроков свершения событий. Ранний срок свершения исходного события принимается равный 0, т.е.

$$t_{pi} = 0 \quad (1)$$

Ранний срок свершения следующего события равен раннему сроку свершения исходного события плюс продолжительность работы  $ij$ , т.е.

$$t_{pj} = 0 + t_{ij} = t_{pij} + t_{ij} \quad (2)$$

Ранний срок свершения любого события  $j$  определяется максимальной суммой раннего срока свершения начального события  $t_{pi}$  работы  $ij$  плюс продолжительность этой работы  $t_{ij}$

$$t_{pj} = (t_{pi} + t_{ij}) \max \quad (3)$$

Пример расчёта. Рассчитать параметры сетевой модели представленной на рис. 3.3 Продолжительность работ указана в неделях.

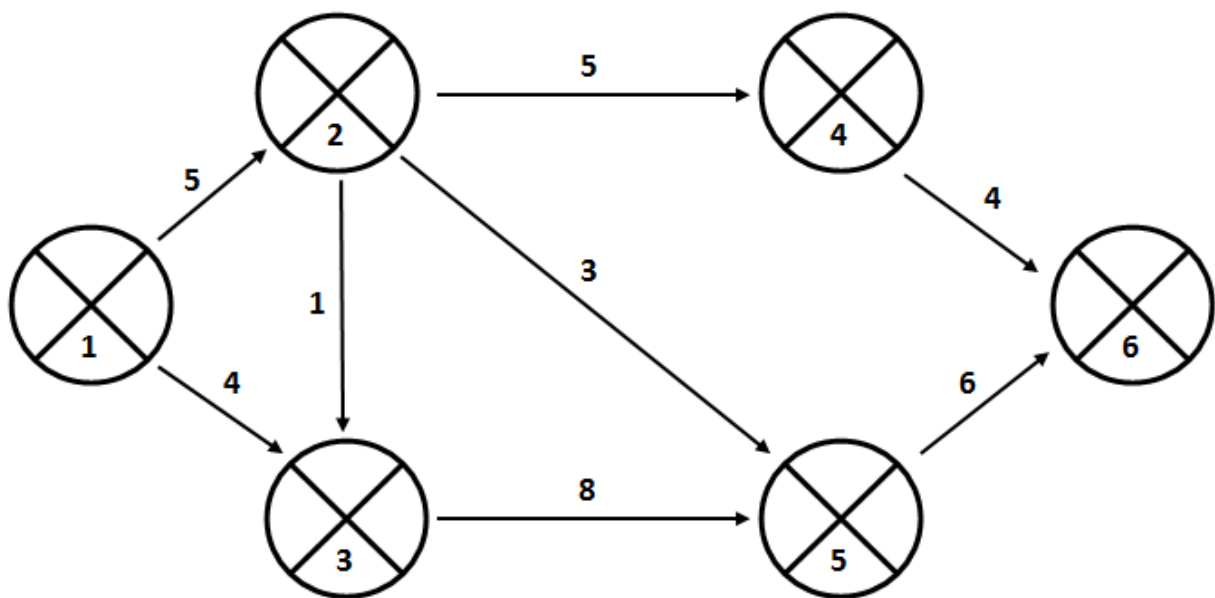


Рисунок 3.3

Ранний срок свершения события  $t_{pi}$ , т.е. события 1 принимается равный 0 (Рис 3.4)

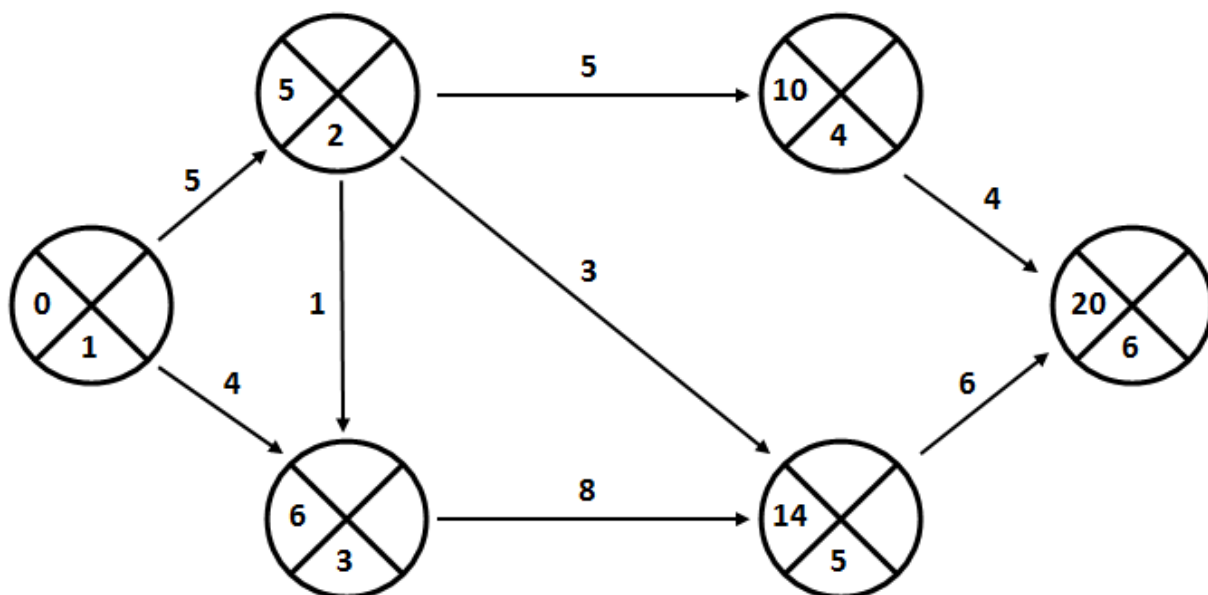


Рисунок 3.4

На графике в левом секторе кружочка изображающего событие 1 вписываем 0. Ранний срок свершения события 2 определяете по формуле:

$$t_{p2} = t_{p1} + t_{p1,2} = 0 + 5 = 5 \text{ недель}$$

Это означает, что событие 2 может свершиться только через пять недель после начала работы.

Ранний срок свершения события 3 ( $t_{p3}$ ) может быть определен исходя из раннего срока свершения события 2 ( $t_{p2}$ ) и продолжительности работы 2,3  $t_{2,3}$ , т.е.  $t_{p3} = t_{p2} + t_{p2,3} = 5 + 1 = 6$  недель.

И из раннего срока свершения события 1 ( $t_{p1}$ ) и продолжительности работы 1,3 ( $t_{1,3}$ ), т.е.  $t_{p3} = t_{p1} + t_{p1,3} = 0 + 4 = 4$  недели.

Событие 3 может свершиться только после окончания всех работ входящих в это событие, т.е. после окончания работ 1,3 и 2,3.

Работа 2,3 может закончиться только через шесть недель, работа 1,3 - через четыре недели. Это означает, что событие 3 может свершаться только через шесть недель. Далее определяем ранние сроки свершения всех остальных событий:

$$t_{p4} = t_{p2} + t_{p2,4} = 5 + 5 = 10 \text{ недель}$$

$$t_{p5} = t_{p3} + t_{p3,5} = 6 + 8 = 14 \text{ недель}$$

$$t_{p6} = t_{p5} + t_{p5,6} = 14 + 6 = 20 \text{ недель}$$

Ранний срок свершения завершающего события определяет срок окончания всей разработки, для которой построен сетевой график. В рассматриваемом примере он равен 20 неделям. Следовательно, вся разра-

ботка может быть закончена только через 20 недель.

### 3.1.1 Определение поздних сроков свершения событий

Определение поздних сроков свершения событий начинается с завершающегося события, т.е. с конца графика и ведётся строго в обратном порядке, приближаясь к исходному событию.

Поздний срок свершения завершающегося события принимается равный его раннему сроку, т.е.

$$t_{pg} = t_{ng} \quad (4)$$

Поздний срок свершения предыдущего события определяется как разность между поздним сроком свершения завершающегося события и продолжительностью работы:

$$n_i = t_{ng} - t_{ig} \quad (5)$$

Если из какого-либо события выходит две или несколько работ то поздний срок свершения этого события определяется минимально разностью между поздним сроком свершения конечного события и продолжительностью работы, т.е.

$$t_{ni} = (t_{nj} - t_{ij}) \min \quad (6)$$

Определим поздние сроки свершения событий сетевой модели, представленной на рис. 3.5:

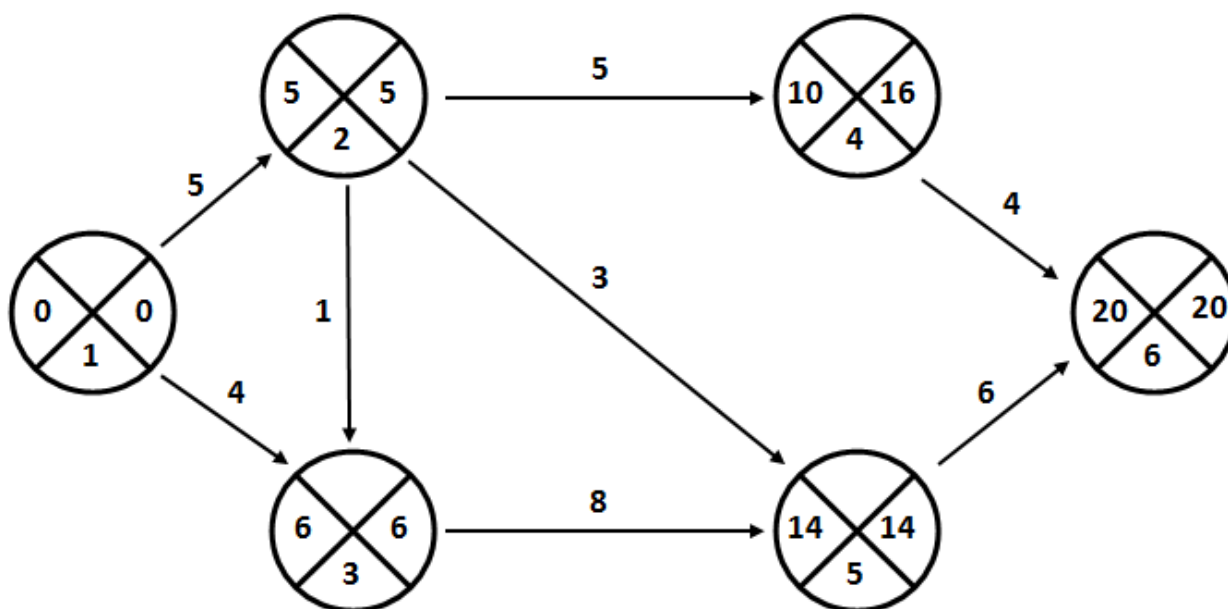


Рисунок 3.5

$$t_{n5} = t_{n6} - t_{5,6} = 20 - 6 = 14 \text{ неделям}$$

$$t_{n4} = t_{n6} - t_{4,6} = 20 - 4 = 16 \text{ неделям}$$

$$t_{n3} = t_{n5} - t_{3,5} = 14 - 8 = 6 \text{ неделям}$$

$$t_{n2} = (t_{n4} - t_{2,4}; t_{n5} - t_{2,5}; t_{n3} - t_{2,3})$$

$$\min = (16 - 5; 14 - 3; 6 - 1) \quad \min = 5 \text{ недель}$$

Если график рассчитан правильно, то поздний срок свершения исходного события должен быть равен его раннему сроку, т.е.  $t_{ni} = t_{pi} = 0$ .

### 3.1.2 Определение резервов времени события

Резервы времени событий определяются как разность между поздним и ранним сроком свершения  $P_i = t_{ni} - t_{pi}$ .

В нашем примере резервы времени соответственно равны:

$$P_1 = t_{n1} - t_{p1} = 0 - 0 = 0$$

$$P_2 = 5 - 5 = 0$$

$$P_3 = 6 - 6 = 0$$

$$P_4 = 16 - 10 = 6$$

$$P_5 = 14 - 14 = 0$$

$$P_6 = 20 - 20 = 0$$

Значения резервов времени событий записываются в верхний сектор соответствующего события (рис. 3.6).



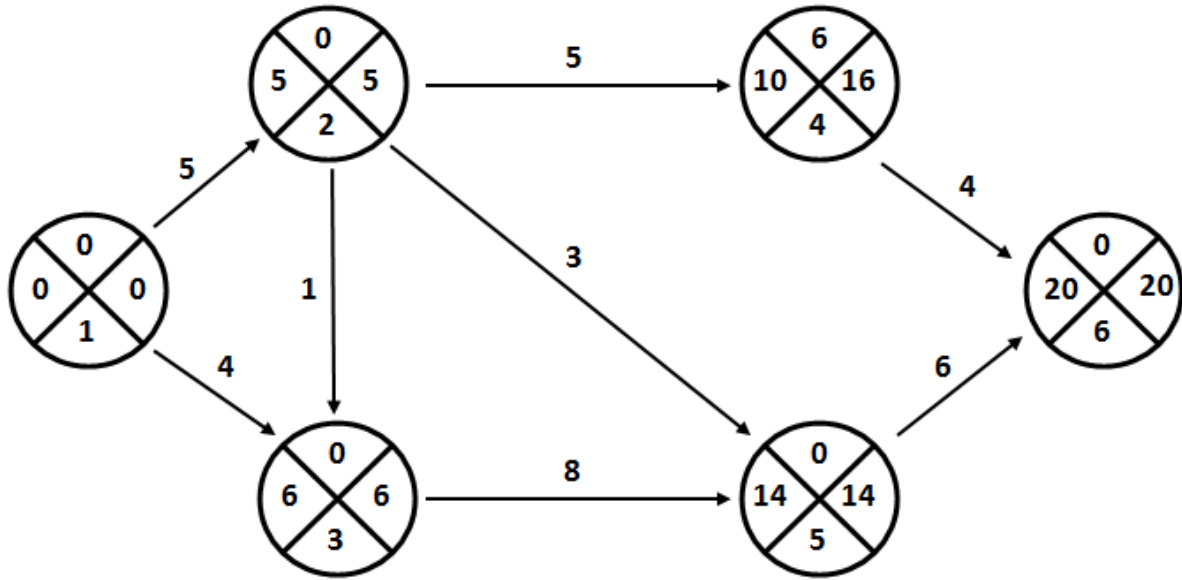


Рисунок 3.6

### 3.1.3 Определение критического пути

Для определения критического пути используется метод СРМ, применяемый для управления проектами с фиксированным временем выполнения работ. На этом этапе определяются работы и события, лежащие на критическом пути. Определение критического пути ведётся от исходного события до завершающего. Необходимым условием того, что работа находится на критическом пути, является нулевой резерв времени начального и конечного события этой работы, т.е.

$$P_i = P_j \quad (7)$$

Если из события с нулевым резервом времени выходит несколько работ, имеющих нулевой резерв времени конечного события, то проверяете второе, достаточное условие, подтверждающее что данная работа находится на критическом пути. Разность между сроком свершения конечного события, продолжительностью работы и сроком свершения начального события должна быть равна 0;

$$t_j - t_{ij} - t_i = 0 \quad (8)$$

Определим критический путь сетевой модели, представленной на рис.3.3 Из события 1 выходят две работы, у которых конечные события имеют нулевой резерв времени (см. рис. 3.6), т.е.  $P_2=0$  и  $P_3=0$

Какая же из двух работ на критическом пути? Из формулы (8) следует, что на критическом пути находится та работа, у которой  $t_j - t_{ij} - t_i = 0$  для работы 1-2:  $t_2 - t_{1,2} - t_1 = 5 - 5 - 0 = 0$  для работы 1-3:  $t_3 - t_{1,3} - t_1 = 6 - 4 - 0 = 2$ . Следовательно, критический путь проходят через работу 1-2. На графике критический путь отмечаем жирной линией (см. рис 3.7)

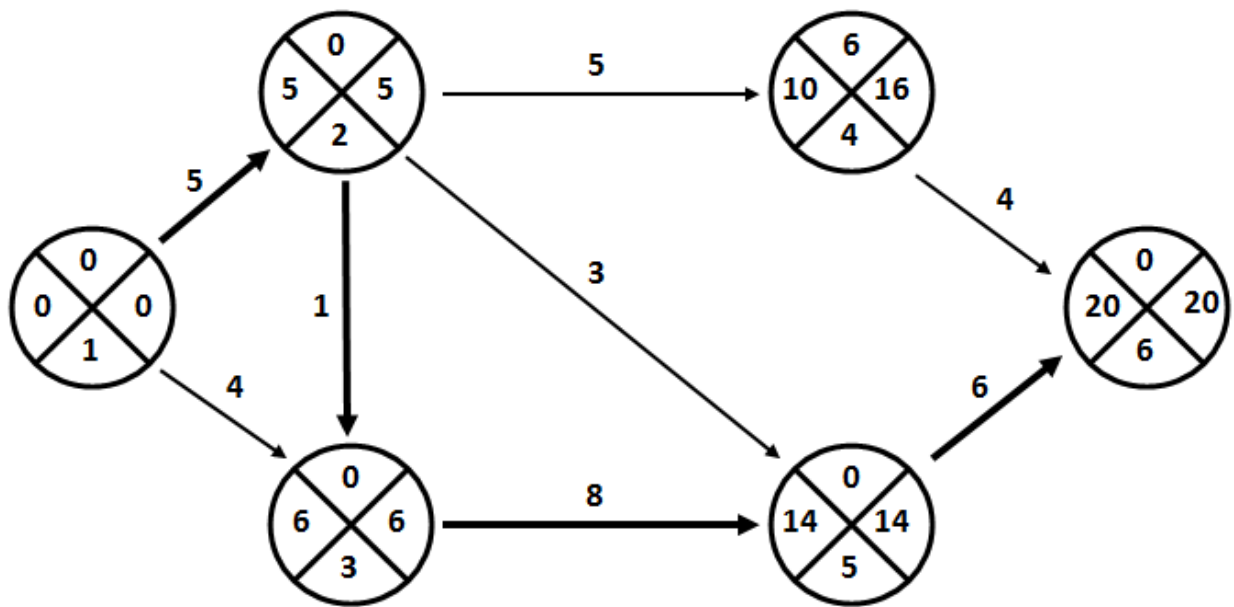


Рисунок 3.7

Из события 2 выходят три работы, причем у двух работ 2, 5 и 2, 5 конечные события имеют нулевой резерв времени. Проверим второе условие, достаточное для того, чтобы данная работа находилась на критическом пути:

$$\text{для работы 2, 3: } t_3 - t_{2,3} - t_2 = 6 - 1 - 5 = 0$$

$$\text{для работы 2, 5: } t_5 - t_{2,5} - t_2 = 14 - 3 - 5 = 6$$

Следовательно, критический путь проходит через работу 2, 3. Далее критический путь проходит через работы 3,5; 5,6.

Следовательно, продолжительность критического пути равна:

$$t_{кр} = t_{1,2} + t_{2,3} + t_{3,5} + t_{5,6} = 5 + 1 + 8 + 6 = 20 \text{ нед.}$$

В методе критического пути предполагалось, что время выполнения работ нам известно. На практике же эти сроки обычно не определены. Можно строить некоторые предположения о времени выполнения каждой работы, но нельзя предусмотреть все возможные трудности или задержки выполнения. Для управления проектами с неопределенным временем выполнения работ наиболее широкое применение получил метод оценки и пересмотра проектов (Project Evaluation and Review Technique — PERT), рассчитанный на использование вероятностных оценок времени выполнения работ, предусматриваемых проектом. Для каждой работы вводят три оценки:

- оптимистическое время  $a$  — наименьшее возможное время выполнения работы;
- пессимистическое время  $b$  — наибольшее возможное время выполнения работы;
- наиболее вероятное время  $t$  — ожидаемое время выполнения работы в нормальных условиях.

По  $a$ ,  $b$  и  $t$  находят ожидаемое время выполнения работ:

$$t = \frac{a + 4m + b}{6}; \quad (9)$$

И дисперсию ожидаемой продолжительности  $t$ :

$$\delta^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2; \quad (10)$$

Используя значения  $t$ , найдем критический путь сетевого графика. Распределение времени  $T$  завершения проекта является нормальным со средним  $E(T)$ , равным сумме ожидаемых значений времени работ на критическом пути, и дисперсией  $\delta^2(T)$ , равной сумме дисперсий работ критического пути, если времена выполнения каждой из работ можно считать независимыми друг от друга. Тогда можем рассчитать вероятность завершения проекта в установленный срок  $T_0$ :

$$P(t_{кр} < T_0) = 0.5 + \Phi\left(\frac{T_0 - E(T)}{\delta(T)}\right), \text{ где} \quad (11)$$

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt - \text{функция Лапласа} \quad (12)$$

Значения функции  $\Phi(x)$  берутся из специальной таблицы №2. Важно, что

$$\Phi(-x) = -\Phi(x) \quad (13)$$

Можно также воспользоваться мастером функций  $f_x$  пакета Excel:

$\Phi(x) = \text{нормрасп}(x; 0; 1; 1) - 0,5$ . Полагают  $\Phi(x) = 0,5$  при  $x > 5$ .

Таблица 1 - Пример проекта создания программного продукта

Работа	Непосредственный предшественник	Оптимистич. (a)	Наиболее вероятное (m)	Пессимистич. (b)
A	—	3	5	6
B	—	2	4	6
C	A, B	5	6	7
D	A, B	7	9	10
E	B	2	4	6
F	C	1	2	5
G	D	5	8	10
H	A F	6	8	10
I	E, G, H	3	4	5

Каков ожидаемый срок завершения проекта? Чему равно стандартное отклонение времени завершения проекта? Какова вероятность того, что выполнение проекта займет не более 25 рабочих дней?

Ожидаемое время выполнения работы:

$$t = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (14)$$

Дисперсия ожидаемой продолжительности t:

$$\delta^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2; \quad (15)$$

Таблица 2 - Расчет дисперсии и времени выполнения основных работ для программного продукта

Работа	a	m	b	$t = \frac{a + 4m + b}{6}$	$\delta^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2$
A	3	5	6	$\frac{3+4*5+6}{6} = \frac{29}{6} \approx 4,8$	$\left(\frac{6-3}{6}\right)^2 = \frac{9}{36}$
B	2	4	6	$\frac{2+4*4+6}{6} = \frac{24}{6} \approx 4$	$\left(\frac{6-2}{6}\right)^2 = \frac{16}{36}$
C	5	6	7	$\frac{5+4*6+7}{6} = \frac{36}{6} \approx 6$	$\left(\frac{7-5}{6}\right)^2 = \frac{4}{36}$

D	7	9	10	$\frac{7+4*9+10}{6} = \frac{53}{6} \approx 8,8$	$(\frac{10-7}{6})^2 = \frac{9}{36}$
E	2	4	6	$\frac{2+4*4+6}{6} = \frac{24}{6} \approx 4$	$(\frac{6-2}{6})^2 = \frac{16}{36}$
F	1	2	3	$\frac{1+4*2+3}{6} = \frac{12}{6} \approx 2$	$(\frac{3-1}{6})^2 = \frac{4}{36}$
G	5	8	10	$\frac{5+4*8+10}{6} = \frac{47}{6} \approx 7,8$	$(\frac{10-5}{6})^2 = \frac{25}{36}$
H	6	8	10	$\frac{6+4*8+10}{6} = \frac{48}{6} \approx 8$	$(\frac{10-6}{6})^2 = \frac{16}{36}$
I	3	4	5	$\frac{3+4*4+5}{6} = \frac{24}{6} \approx 4$	$(\frac{5-3}{6})^2 = \frac{4}{36}$

Построим сетевой график с указанием ожидаемой продолжительности каждой работы. Найдем критический путь и рассчитаем обычным способом ожидаемый срок выполнения проекта  $E\{T\}$ .

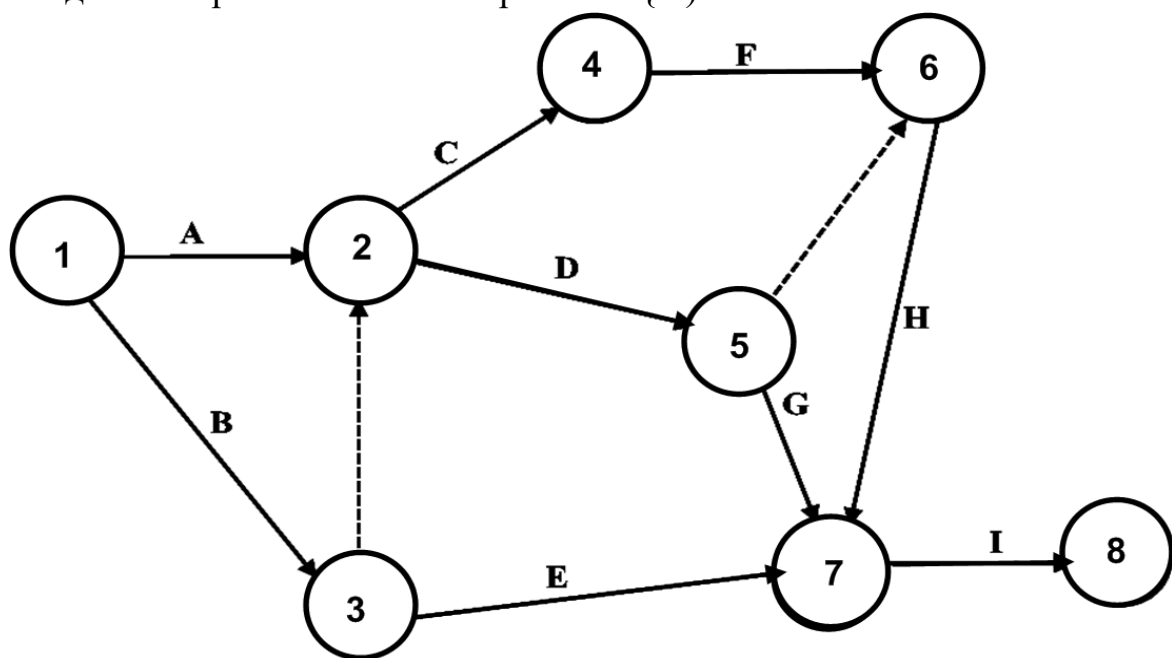


Рисунок 3.8

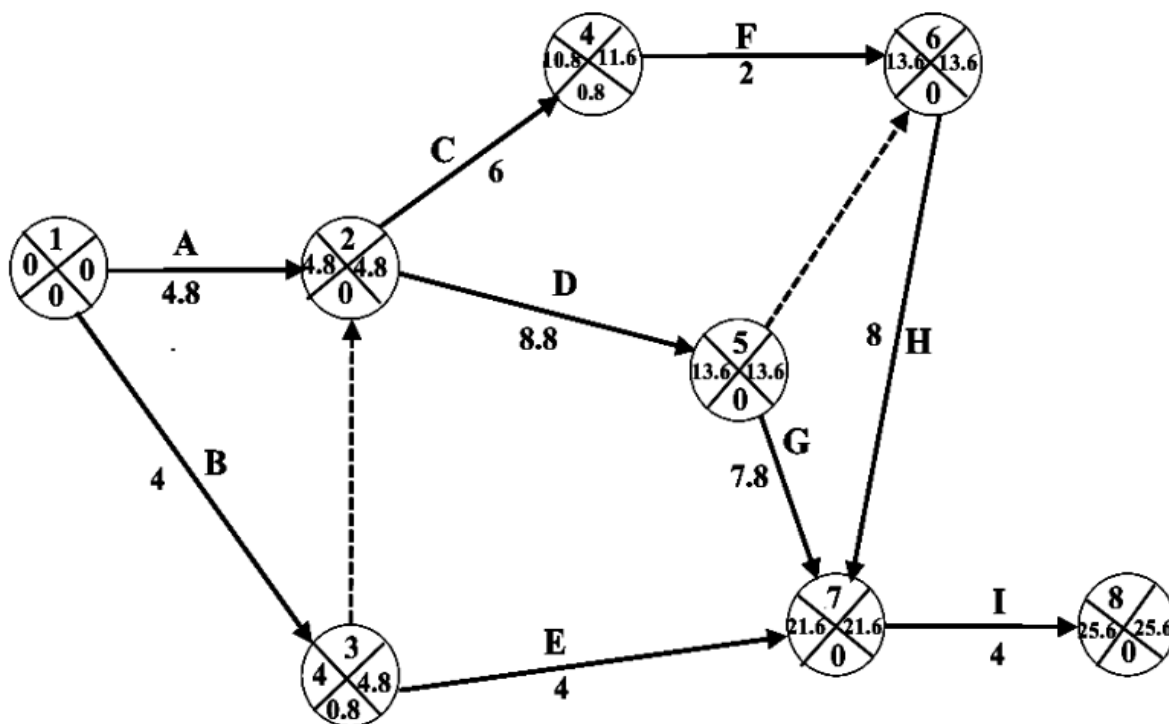


Рисунок 3.9

Критический путь - A-D-H-I. Длина критического пути — 25,6 (дн) =  $E(T)$ . Дисперсия ожидаемого времени выполнения проекта равна сумме дисперсий критических работ:

$$\delta^2(T) = \delta_A^2 + \delta_D^2 + \delta_H^2 + \delta_I^2 = 9/36 + 9/36 + 16/36 + 4/36 = 38/36 \text{ (дней}^2\text{)}$$

Тогда стандартное отклонение времени выполнения проекта составит

$$\delta(T) = \sqrt{38/36} \approx 1.03 \text{ (дней)}$$

Найдем вероятность того, что выполнение проекта займет не более  $T_0 = 25$  дней:

$$P(t_{kp} < T_0) = P(t_{kp} < 25) = 0.5 + \Phi\left(\frac{T_0 - E(T)}{\delta(T)}\right) = 0.5 + \Phi\left(\frac{25 - 25.6}{1.03}\right) \approx$$

$$0.5 + \Phi(-0.58) = 0.5 * -\Phi(0.58) \approx 0.5 - 0.219 = 0.281$$

### 3.1.4 Определение резервов времени работ

Резервы времени определяются только у работ, не лежащих на критическом пути. Работы лежащие на критическом пути не имеют никаких резервов времени, т.е. у этих работ все резервы (полный, свободный, част-

ные) равны нулю.

Полный резерв времени работы  $P_{nij}$  - это весь резерв, которым обладает работа при условии возможного раннего ее начала и позднего допустимого ее окончания. Полный резерв времени работы определяется по формуле:

$$P_{nij} = t_{nj} - t_{pi} - t_{ij} \quad (16)$$

Ниже приведен расчет полного резерва времени всех работ сетевой модели, изображенной на рис. 2.3:

$$P_{n1,3} = t_{n3} - t_{p1} - t_{1,3} = 6 - 0 - 4 = 2 \text{ неделям};$$

$$P_{n2,5} = t_{n5} - t_{p2} - t_{2,5} = 14 - 5 - 3 = 6 \text{ неделям};$$

$$P_{n2,4} = t_{n4} - t_{p2} - t_{2,4} = 16 - 5 - 5 = 6 \text{ неделям};$$

$$P_{n4,6} = t_{n6} - t_{p4} - t_{4,6} = 20 - 10 - 4 = 6 \text{ неделям};$$

Значения полных резервов времени работ записываются непосредственно на графике (рис. 3.10).

Свободный резерв времени работы  $P_{nij}$  - это резерв времени только данной работы, позволяющей увеличить продолжительность работы на величину свободного резерва, не вызвав изменений ранних и поздних сроков сверления начального и конечного событий остальных работ. Свободный резерв времени определяется по формуле:

$$P_{gij} = (t_{pi} - t_{nj} - t_{ij}; 0) \max \quad (17)$$

или

$$P_{gij} = (P_{gij} - P_j - P_i; 0) \max \quad (18)$$



Для сетевой модели представлений на рис. 3.3 свободные резервы работ имеют следующие значения (определяем резервы времени только у работ, не лежащих на критическом пути), так как работы, находящиеся на критическом пути, имеют нулевой свободный резерв (см. рис.3.10)

$$P_{c4,6} = t_{p6} - t_{n4} - t_{4,6} = 20 - 16 - 4 = 0 \text{ недель.}$$

Частный резерв первого вида показывает, какая часть полного резерва может быть использована для увеличения продолжительности работы, не влияя на ранний срок свершения начального события этой работы. Частный резерв времени первого вида определяется по формулам:

$$P'_{gij} = t_{nj} - t_{ni} - t_{ij} \quad (19)$$



или

$$P'_{nij} = P'_{nij} - P_j \quad (20)$$

Частный резерв второго вида показывает, какая часть полного резерва может быть использована для увеличения продолжительности работы, не влияя на поздний срок свершения конечного события этой работы. Частный резерв второго вида определяется по формулам:

$$P''_{gij} = t_{pj} - t_{pi} - t_{ij} \quad (21)$$

или

$$P''_{ij} = P_{nij} - P_j \quad (22)$$

Для представленной на рис 3.3. сетевой модели частные резервы времени работ будут равны:

$$P'_{n1,3} = t_{n3} - t_{n1} - t_{1,3} = 6 - 4 - 0 = 2 \text{ недели.}$$

$$P'_{n2,5} = t_{n5} - t_{n2} - t_{2,5} = 14 - 5 - 3 = 6 \text{ недель.}$$

$$P'_{n2,4} = t_{n4} - t_{n2} - t_{2,4} = 16 - 5 - 5 = 6 \text{ недель.}$$

$$P'_{n4,6} = t_{n6} - t_{n4} - t_{4,6} = 20 - 16 - 4 = 0.$$

$$P''_{n1,3} = t_{p3} - t_{p1} - t_{1,3} = 6 - 4 - 0 = 2 \text{ недели.}$$

$$P''_{n2,5} = t_{p5} - t_{p2} - t_{2,5} = 14 - 5 - 3 = 6 \text{ недель.}$$

$$P''_{n2,4} = t_{p4} - t_{p2} - t_{2,4} = 10 - 5 - 5 = 0.$$

$$P''_{n4,6} = t_{p6} - t_{p4} - t_{4,6} = 20 - 10 - 4 = 6 \text{ недель.}$$

Рассчитанные значения резервов времени работ записывается над стрелками. весь расчет ведется непосредственно на графике. Приведенные выше формулы логически образуются из определения параметров сети и являются подсобным материалом для объяснения графического метода сетевой модели.

### 3.2 Табличный метод расчета параметров сетевой модели

Принципиальное отличие табличного метода расчета от графического заключается в том, что он позволяет рассчитать параметры сетевой модели непосредственно в таблице, в которую предварительно заносятся в определенном порядке все работы и их продолжительность.

При расчете определяются:

- ранний срок начала работы —  $t_{pниj}$ ;
- ранний срок окончания работы —  $t_{роij}$ ;

- поздний срок начала работы –  $t_{пнij}$ ;
- поздний срок окончания работы  $t_{поij}$ ;
- резервы времени работы: полный -  $P_{nij}$ , частный резерв первого вида -  $P'_{nij}$ , частный резерв второго вида  $P''_{nij}$ .

На основе производственного расчета параметров сети определяется критический путь сетевой модели и его продолжительность.

Ниже приводятся правила для определения параметров сети.

**Правило 1.** Для определения времени первого начала данной работы  $t_{рнij}$  рассматриваются все работы, входящие в начальное событие данной работы. Из графы  $t_{ро}$  входящих работ выбирается максимальное время раннего окончания  $(t_{ро})_{max}$ , которое переносится в графу  $t_{рнij}$  данной работы.

**Правило 2.** Время раннего окончания  $t_{роij}$  равно времени раннего начала этой работы плюс ее продолжительность:

$$t_{роij}=t_{рнij}+t_{ij} \quad (23)$$

**Правило 3.** Для нахождения времени позднего окончания данной работы  $t_{поij}$  рассматриваются все работы, выходящие из конечного события данной работы. Из графы  $t_{пн}$  выходящих работ выбирается минимальное время раннего окончания  $(t_{ро})_{max}$ , которое переносится в графу  $t_{по}$  данной работы (расчет ведется с низу вверх). Если в завершающее событие входят две или несколько работ, то время окончания этих работ определяется максимальным значением их раннего окончания.

**Правило 4.** Время позднего начала данной работы  $t_{пнij}$  равно времени окончания этой работы  $t_{поij}$  минус ее продолжительность:

$$t_{пнij}=t_{поij}-t_{ij} \quad (24)$$

**Правило 5.** полный резерв времени работы  $P_{nij}$  определяется разницей между поздним и ранним началом этой работы:  $P_{nij}=t_{пнij}-t_{рнij}$  либо разностью между поздним и ранним окончанием этой работы:

$$P_{nij}=t_{ноij}-t_{роij} \quad (25)$$

**Правило 6.** Для определения частного резерва первого вида данной работы  $P'_{nij}$  рассматриваются работы, имеющие то же начальное событие. Из графы  $t_{пн}$  этих работ выбирают минимальное время позднего начала, которое вычитается из времени позднего начала данной работы. Если из

события выходит одна работа, то частный резерв первого вида этой работы равен 0.

**Правило 7.** Для определения частного резерва времени второго вида данной работы  $P_{nij}''$  рассматриваются работы, имеющие одинаковые конечные события. Из графы  $t_{po}$  этих работ выбирается максимальное время раннего окончания, из которого вычитают время раннего окончания данной работы. Если в событие входит одна работа, то частный резерв времени второго вида этой работы равен 0. Произведем расчет представленной на рис. 3.11 сетевой модели с помощью приведенных выше правил. Продолжительность работ указана в неделях.

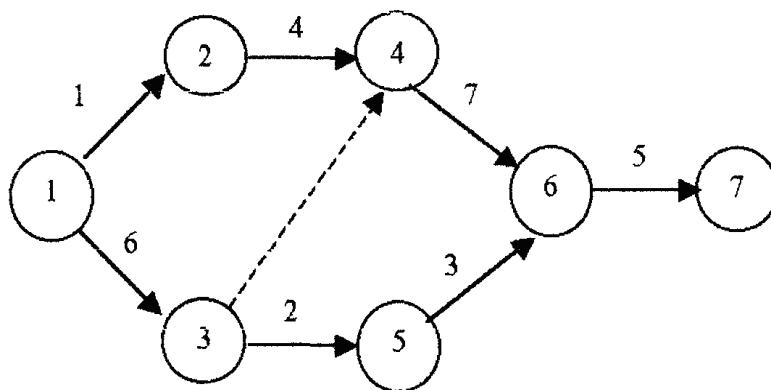


Рисунок 3.11

Указанные выше параметры сети определяются в следующем порядке.

**1 этап.** По данным сетевой модели заполняются графы 2, 3, 1 и 4 табл.3 в графу 1 записывается количество работ, непосредственно входящих в начальное событие данной работы. После заполнения указанных граф весь расчет ведется в таблице без использования сетевой модели.

**2 этап.** Определяется раннее начало и окончание работ, т.е. заполняются графы 5 и 6 табл.3. Раннее начало работ с начальным событием, являющимся в то же время исходным событием данной сетевой модели, принимается равным 0:  $t_{prij} = 0$ .

Таблица 3 – Расчет параметров сетевой модели

	код работы						резервы времени
		прод	ан	ран	позд	позд-	

кол-во предшеств. работ			-ть работы в днях	н. начало работ	н. окончание работ	н. начало работ	нее оконч. работ	работ		
	начальное событие	конечное событие						полный	первого	второго вида
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1	2	1	0	1	1	2	1	1	0
0	1	3	6	0	6	0	0	0	0	0
1	2	4	4	1	5	2	6	1	0	1
1	3	4	0	6	6	6	6	0	0	0
1	3	5	2	6	8	8	10	2	2	0
2	4	6	7	6	13	6	13	0	0	0
1	5	5	3	8	11	10	13	2	0	2
2	6	7	5	13	18	13	8	0	0	0

Следовательно, в графу 5 для работы 1, 2 и 1, 3 записываем 0.

$$t_{рп1,2} = 0; t_{рп1,3} = 0.$$

Выбираем максимальное время раннего окончания - 6 недель, которое переносим в графу 5 работы 4,6, т.е. - 6 неделям.

Раннее окончание работы 4,6 равно:

$$\text{графа 6}(t_{ро4,6}) = \text{графа 5}(t_{рн4,6}) + \text{графа 4}(t_{4,6}).$$

Аналогично выполнены расчеты ранних сроков начала и окончания последующих работ. Полученные данные сведены в таблице 3.

**3 этап.** Определяется время последнего окончания и начала работ, т.е. заполняются графы 7 и 8 табл.3. Расчет при этом ведется с последней строки таблицы снизу вверх.

Расчет поздних сроков начинается с определения позднего срока окончания работы, имеющей максимальное раннее окончание.

Поздний срок окончания этой работы принимается равный ее раннему сроку окончания, т.е.

$$t_{ноic} = t_{opic} \quad (26)$$

В нашем примере такой работой является работа 6,7, принимаем

$$t_{но6,7} = t_{ро6,7} = 18 \text{ неделям.}$$

Время позднего начала любой работы определяется как разность между временем позднего окончания этой работы и ее продолжительностью:

$$t_{пнij} = t_{поij} - t_{ij}. \quad (27)$$

В нашем примере время позднего окончания работы 6,7 равно:

$$\text{графа 7}(t_{пн6,7}) = \text{графа 8}(t_{по6,7}) - \text{графа 4}(t_{6,7}) = 18 - 5 = 13 \text{ неделям.}$$

Определим поздние сроки начала и окончания работы 5,6, в соответствии с правилом 3. Для определения  $t_{по5,6}$  в графе 2 ищем работы, выходящие из конечного (6) события данной работы. Такой работой является работа 6,7. Из графы 7 переносим значение  $t_{пн6,7}=13$  неделям, в графу 8 работы 5,6, т.е.  $t_{по5,6} = 13$  неделям. Позднее начало работы 5,6 соответственно равно:

$$\text{графа 7}(t_{пн5,6}) = \text{графа 8}(t_{по5,6}) - \text{графа 4}(t_{5,6}) = 13 - 3 = 10 \text{ неделям.}$$

Аналогичные расчеты проведены для работ 4,6; 3,5; 3,4; 2,4.

Рассмотрим порядок определения поздних сроков начала и окончания работы 1,3.

В соответствии с правилом 3 для определения  $t_{ро1,3}$  в графике 2 ищем работы, выходящие из конечного события данной работы.

Таковыми работами являются работы 3,4 и 3,5.

Затем заполняем графу 6. Раннее окончание работы 1,2 равно сумме раннего начала этой работы и ее продолжительности, т.е.

$$t_{ро1,2} = t_{пн1,2} + t_{1,2} = 0 + 1 = 1.$$

Таким же образом определяется раннее окончание работы 1,3:

$$t_{ро1,3} = t_{пн1,3} + t_{1,3} = 0 + 6 = 6$$

Для определения раннего начала всех остальных работ воспользуемся правилом 1.

Для нахождения  $t_{рн2,4}$  в графе 3 табл.3 ищем работы, входящие в начальное (2) событие данной работы. Такой работой является работа 1,2.

Из графы 6 переносим значение  $t_{ро1,2} = 1$  неделе в графу 5 работы 2,4, т.е.

$t_{рн2,4} = 1$  неделе. Раннее окончание работы 2,4 равно сумме раннего начала работы и ее продолжительности:

$$t_{ро2,4} = t_{рн2,4} + t_{2,4} = 1 + 4 = 5 \text{ неделям.}$$

Этот расчет проводится только для пояснения метода. Обычно все расчеты выполняются непосредственно в таблице. Например, для работы 2,4

$$\text{графа 5}[t_{рн2,4}] + \text{графа 4}[t_{2,4}] = \text{графа 6}[t_{ро2,4}].$$

Для определения  $t_{рн3,4}$  в графе 3 табл.3 ищем работы, входящие в

начальное событие данной работы.

Такой работой является работа 1,3.

Из графы 6 переносим значение  $t_{po1,3} = 6$  неделям в графу 5 работы 3,4, т.е.  $t_{pn3,4} = 6$  неделям.

Раннее окончание работы 3,4 соответственно равно:

графа 5[ $t_{pn3,4}$ ] + графа 4[ $t_{3,4}$ ] = графа 6[ $t_{po3,4}$ ].

Аналогично определены  $t_{pn3,5}$  и  $t_{po3,5}$ . Далее определим  $t_{pn4,6}$  и  $t_{po4,6}$ . В соответствии с правилом 1 для нахождения в графе 3 ищем работы, входящие в начальное (4) событие данной работы. Такими работами являются работы 2,4 и 3,4.

В графе 6 находим для этих работ время раннего окончания, которые соответственно равны:

$t_{po2,4} = 5$  неделям,

$t_{po3,4} = 6$  неделям.

В графе 7 для этих работ находим времена позднего начала, которые соответственно равны (табл. 3):

$t_{pn3,4} = 6$  неделям,

$t_{pn3,5} = 8$  неделям.

Выбираем минимальное время позднего начала [в данном случае ( $t_{pn}$ )min = 6 неделям], которое переносим в графу 8 работы 1,3, т.е.  $t_{pol,3} = 6$  неделям.

Позднее начало работы соответственно равно:

графа 7( $t_{pn1,3}$ ) = графа 8( $t_{pol,3}$ ) - графа 4( $t_{1,3}$ ) = 6-6=0 недель.

Аналогичные расчеты проведены и для работы 1,2. Все данные сведены в таблице1.

**4 этап.** Определяется полный резерв времени работ, т.е. заполняется графа 9. Полные резервы времени работ равны (см. правило 5):

$R_{pl,2} = t_{pn1,2} - t_{pn1,2} = 1 - 0 = 1$ ;

$R_{pl,3} = t_{pn1,2} - t_{pn1,3} = 0 - 0 = 0$ ;

$R_{p2,4} = t_{pn2,4} - t_{pn2,4} = 2 - 1 = 1$  и т.д. (см. табл. 3).

**5 этап.** Определяются работы, лежащие на критическом пути.

Из определения критического пути следует, что работы, лежащие на критическом пути, не имеют резерва времени, т.е. работы, имеющие нулевой полный резерв работы времени, находятся на критическом пути.

Из этого следует, что в нашем примере критический путь проходит через следующие работы 1,3; 3,4; 4,6; 6,7.

**6 этап.** Определяется частный резерв времени работ первого вида.

Частные резервы времени работ первого вида (см. правило 6).

$$P'_{n1,2} = t_{пн1,2} - [t_{пн1,2}; t_{пн1,3}]_{\min} = 1 - [1;0]_{\min} = 1-0=1.$$

$$P'_{n1,3} = t_{пн1,3} - [t_{пн1,2}; t_{пн1,3}]_{\min} = 0 - [1;0]_{\min} = 0-0=0.$$

$$P'_{n2,4} = 0 \text{ (см. правило 6)}$$

$$P'_{n3,4} = t_{пн3,4} - [t_{пн3,4}; t_{пн3,5}]_{\min} = 6 - [6;8]_{\min} = 6-6=0$$

$$P'_{n3,5} = t_{пн3,5} - [t_{пн3,4}; t_{пн3,5}]_{\min} = 8 - [6;8]_{\min} = 8-6=2$$

$$P'_{n4,6} = 0; P'_{n5,6} = 0; P'_{n6,7} = 0.$$

**7 этап.** Определяется частный резерв времени работ второго вида(см. правило7):  $P''_{n1,2} = 0; P''_{n1,3} = 0$

$$P''_{n2,4} = [t_{по2,4}; t_{ро3,4}]_{\max} - t_{по2,4} = [5;6]_{\max} - 5 = 6-5=1$$

$$P''_{n3,4} = [t_{по2,4}; t_{ро3,4}]_{\max} - t_{по3,4} = [5;6]_{\max} - 6 = 6-6=0$$

$$P''_{n3,5} = 0;$$

$$P''_{n4,5} = [t_{по4,5}; t_{ро5,6}]_{\max} - t_{по4,6} = [13;11]_{\max} - 13 = 13 - 13 = 0;$$

$$P''_{n5,6} = 2; P''_{n6,7} = 0;$$

### 3.2.1 Определение количества путей в сетевой модели

Количество путей в данной сети определяется от исходного события до завершающего.

Например: пути 0-1-6-7, 0-3-5-7, 0-2-4-7 и др.

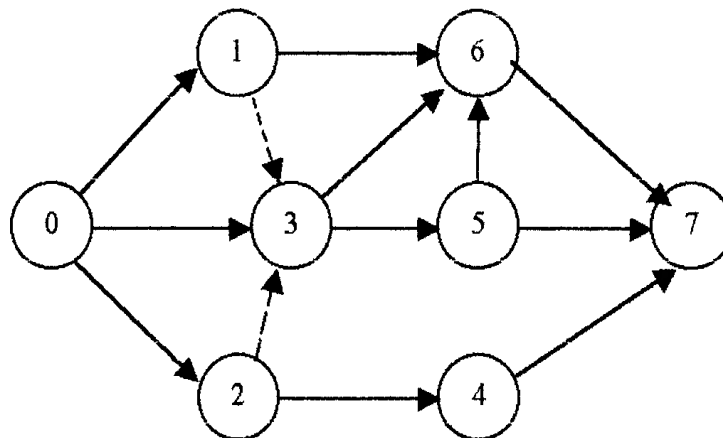


Рисунок 3.12

В данной сети 11 путей.

## 4. ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕВОГО ГРАФИКА

При оптимизации анализируются структура графика, трудоемкость и длительность выполнения каждой работы, вероятность завершения разра-

боток в заданный срок и загрузка исполнителей.

Анализ сетевого графика предусматривает также выравнивание коэффициентов напряженности работ  $K_{nij}$ :

$$K_{nij} = \frac{t(L_{\max}) - t'(L_{kp})}{t(L_{kp}) - t'(L_{kp})}, \text{ где} \quad (28)$$

$t(L_{\max})$  - продолжительность максимального пути, проходящего через данную работу (дни);

$t'(L_{kp})$  - продолжительность отрезка пути  $t(L_{\max})$ , совпадающего с критическим путем (дни).

При анализе сетевых графиков производится расчет вероятности свершения завершающего события в данный срок  $T_d$ , при этом чаще всего учитывают работы только критического пути, используя закон нормального распределения  $t_{ij}$ , то есть

$$Z = \frac{T_d - T_k}{\sqrt{\sigma_{ij}^2}}, \text{ где} \quad (29)$$

$Z$  – аргумент нормальной функции распределения вероятностей;

$T_k$  - срок свершения завершающего события (по расчету в днях);

$\sqrt{\sigma_{ij}^2}$  - сумма дисперсий работ, лежащих на критическом пути.

Найдя  $Z$  по таблице значений функции Лапласа, определяют вероятность свершения завершающего события в заданный срок.

Таблица 4 – Значения функций Лапласа

Z	P <sub>k</sub>	Z	P <sub>k</sub>	Z	P <sub>k</sub>	Z	P <sub>k</sub>
0.0	0.5000	1.6	0.9452	-0.3	0.0013	-1.4	0.0808
0.1	0.5398	1.7	0.9554	-2.9	0.0019	-1.3	0.0968
0.2	0.5793	1.8	0.9641	-2.8	0.0026	-1.2	0.1151
0.3	0.6179	1.9	0.9713	-2.7	0.0035	-1.1	0.1357
0.4	0.6554	2.0	0.9772	-2.6	0.0047	-1.0	0.1587
0.5	0.6915	2.1	0.9821	-2.5	0.0062	-0.9	0.1841
0.6	0.7257	2.2	0.9861	-2.4	0.0082	-0.8	0.2119
0.7	0.7580	2.3	0.9893	-2.3	0.0107	-0.7	0.2420
0.8	0.7881	2.4	0.9918	-2.2	0.0139	-0.6	0.2743
0.9	0.8159	2.5	0.9938	-2.1	0.0179	-0.5	0.3085



1.0	0.8413	2.6	0.9953	-2.0	0.0228	-0.4	0.3446
1.1	0.8643	2.7	0.9965	-1.9	0.0287	-0.3	0.3821
1.2	0.8849	2.8	0.9974	-1.8	0.0359	-0.2	0.4207
1.3	0.9032	2.9	0.9981	-1.7	0.0446	-0.1	0.4602
1.4	0.9192	3.0	0.9987	-1.6	0.548	-0.0	0.5000
1.5	0.9332			-1.5	0.0668		

Распределение ресурсов (исполнителей) по срокам работ определяют путем построения «карты проекта» или графика потребности в исполнителях.

Расчеты при оптимизации сетевых графиков проводятся вручную или на вычислительных машинах. При оптимизации графика с неограниченными ресурсами стремятся к тому, чтобы на работах критического и подкритического путей объем ресурса (число исполнителей) точно соответствовал потребности их для выполнения разработки в заданный срок.

При графическом методе оптимизации можно применять ряд способов. На примере рассмотрим один из способов оптимизации графиков при ограниченных ресурсах.

Пример. Необходимо оптимизировать сетевой график (рисунок 4.1) по времени выполнения при ограниченном ресурсе исполнителей 10 человек. Для простоты принят один вид исполнителей - конструкторы. Над стрелками (работами) дана продолжительность работы, а под стрелкой (в квадрате) - число исполнителей. Для решения задачи используется график Ганта в следующей последовательности:

1. Составляются линейная диаграмма и график ежедневной потребности ресурса - карта проекта (рисунок 4.2). График Ганта строится следующим образом. На ось абсцисс наносится равномерная шкала времени  $t$ , каждая работа изображается полоской, параллельной оси абсцисс, длиной, равной продолжительности работы. Фиктивные работы снизу вверх одна над другой в порядке возрастания индекса работы  $j$ . Работы на линейной диаграмме указывают по ранним срокам свершения событий.

2. По графику Ганта очень быстро и просто определяется  $t(L_{кр})$ ,  $P_{пij}$ .

3. По графику ежедневной потребности, изображенной на карте проекта, видно, что в 4, 5, 6, 9, 10-й дни недостает конструкторов, тогда как в 7, 8, 11, 12, 13 и дни и дальше имеется резерв в конструкторах.

4. Рассматривается первый участок до окончания одной из работ - 1 и 2-й дни - и анализируется возможность передвинуть вправо некоторые работы. Применяется следующая очередность оставления работ на данном участке:

- 1) работы критического пути;
- 2) работы, не законченные в предыдущем периоде;
- 3) работы в последовательности уменьшения полного резерва. При

этом учитываются также фронт и коэффициенты напряженности работ.

Работу 0,2 передвигать нельзя, так как она лежит на критическом пути;

работа 0,1 имеет полный резерв, равный 7 дням; работа 0,3 имеет свободный резерв 4 дня.

По правилу необходимо передвинуть вправо работу 0,1, как имеющую наибольший резерв. Но в данном случае лучше передвинуть вправо начало работы 0,3 на 3 дня, так как на работе 0,1 занято большее число исполнителей.

5. Строятся (изменяется старая) диаграмма и график ежедневной потребности ресурса (рисунок 4.3).

6. Анализируется следующий участок графика, т. е. от оптимизированного участка до окончания работы критического пути - 4, 5 и 6-й дни. Из графика видно, что в 4, 5 и 6-й дни не хватает конструкторов.

Анализируются работы, попадающие на этот участок времени. Работа 2, 3 находится на критическом пути, остальные работы имеют полные резервы;

работа 0,3 - 1 день; 1,4-7 дней; 1,5 - 11 дней.

Передвинув вправо с участка 4, 5, 6-го дней работы 1,4 и 1,5 и следующие за ними работы 4,8 и 5,8 получают распределение, работ, удовлетворяющее именуемому ресурсу (рисунок 4.4).

Последовательно рассматривая каждый участок, можно достичь соблюдения заданных условий (сроков, числа исполнителей).

Обратная задача, т. е. оптимальное распределение ресурсов при ограниченном времени выполнения проекта, проводится также по линейным диаграммам, но при этом работы рассматриваются в обратной последовательности.

При наличии нескольких видов ресурсов проводится оптимизация по каждому и выбирается наиболее оптимальный вариант.

Может быть поставлена задача и другого типа – снизить стоимость разработки за счет увеличения продолжительности работ, имеющих резервы времени, или наоборот – минимизировать время разработки, допустив увеличение стоимости.

Исследуя зависимости между продолжительностью и стоимостью работ, устанавливают их оптимальное соотношение для рассматриваемого варианта разработки.

Для каждого вида работ необходимо построить график время – затраты

(рисунок 4.5), характеризующийся наклоном аппроксимирующей кривой. Пользуясь такими графиками, можно определить величину затрат  $C_i$ , необходимых для выполнения работы в сокращенное время:

$$Ci = \frac{(Cn - Cm)(Tn - Tc)}{(Tn - Tm)} \quad (30)$$

или степень нарастания затрат в единицу времени:

$$S = \frac{Cn - Cm}{Tn - Tm} \quad (31)$$

В этих формулах  $C_n$  – повышенные денежные затраты при выполнении работы в минимально возможное время  $T_m$ ;  $C_m$  – затраты при выполнении работы в нормальное время  $T_n$ ;  $T_c$  – время, в которое предполагается выполнить работу.

Если при оптимизации изменилась длительность критического пути и оценка по времени работ, а также, если изменился директивный срок совершения завершающего события, необходимо еще раз рассчитать  $P_k$ .

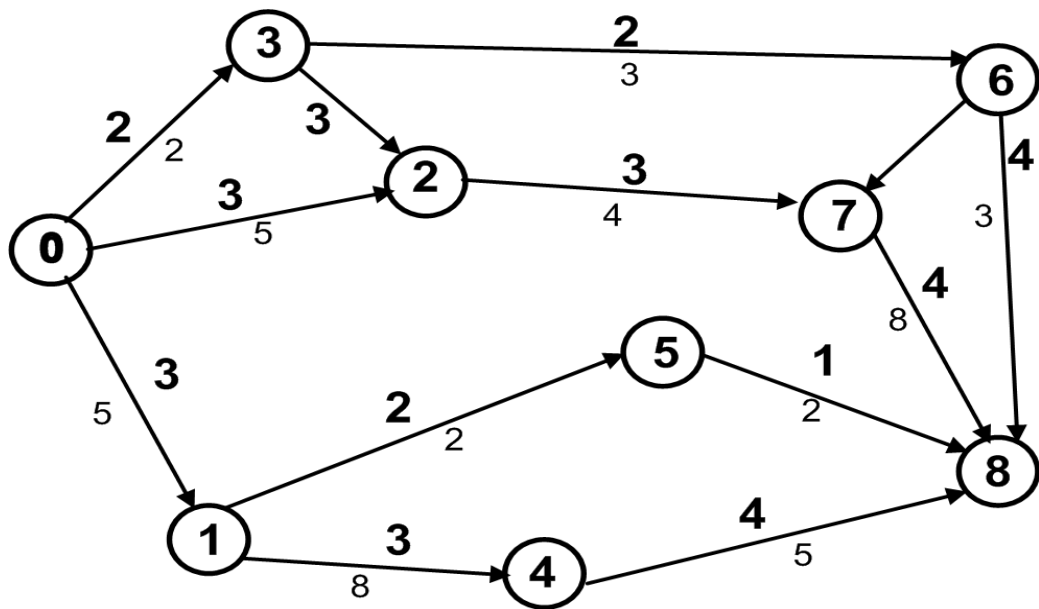


Рисунок 4.1

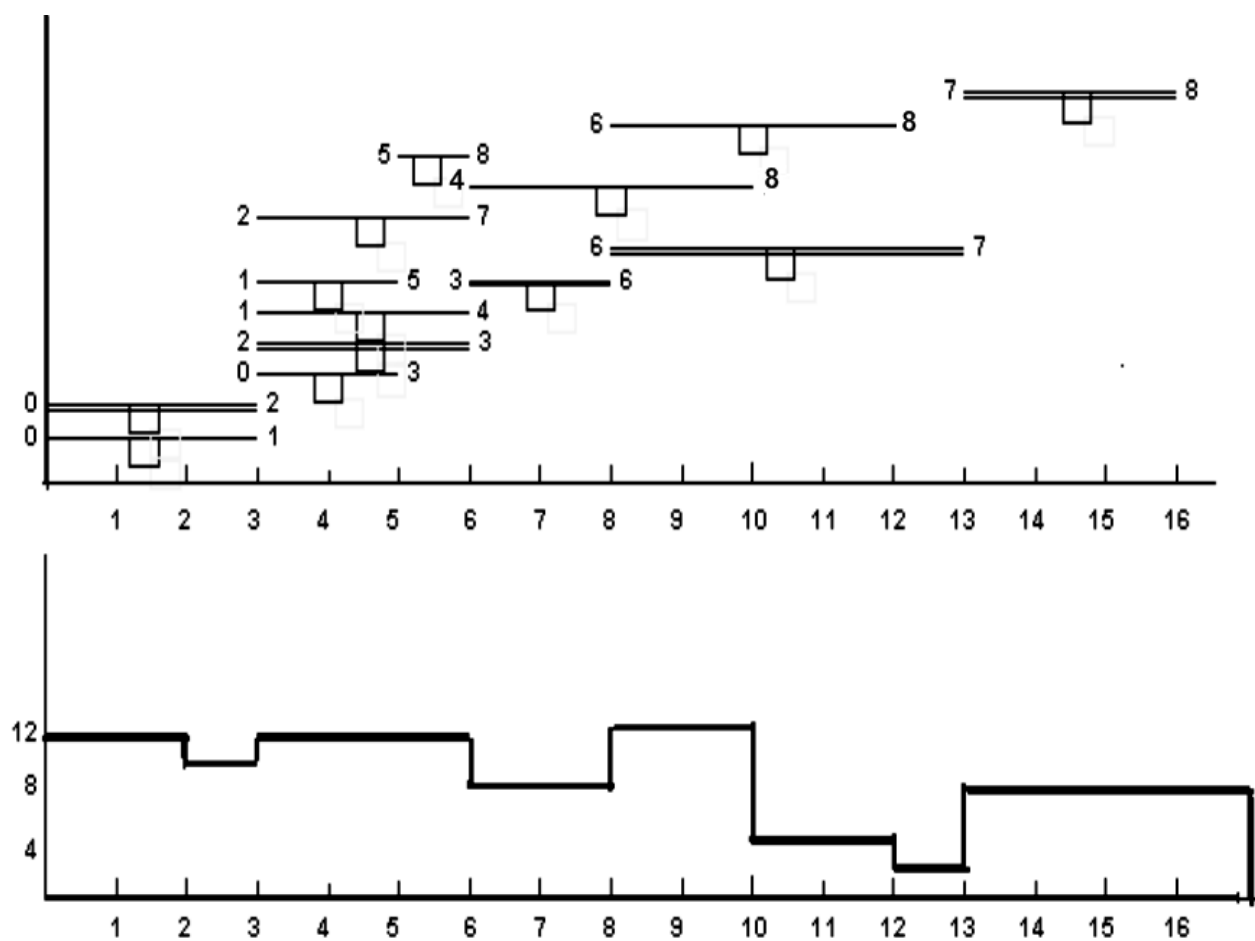


Рисунок 4.2 – Ленточная диаграмма, карта проекта

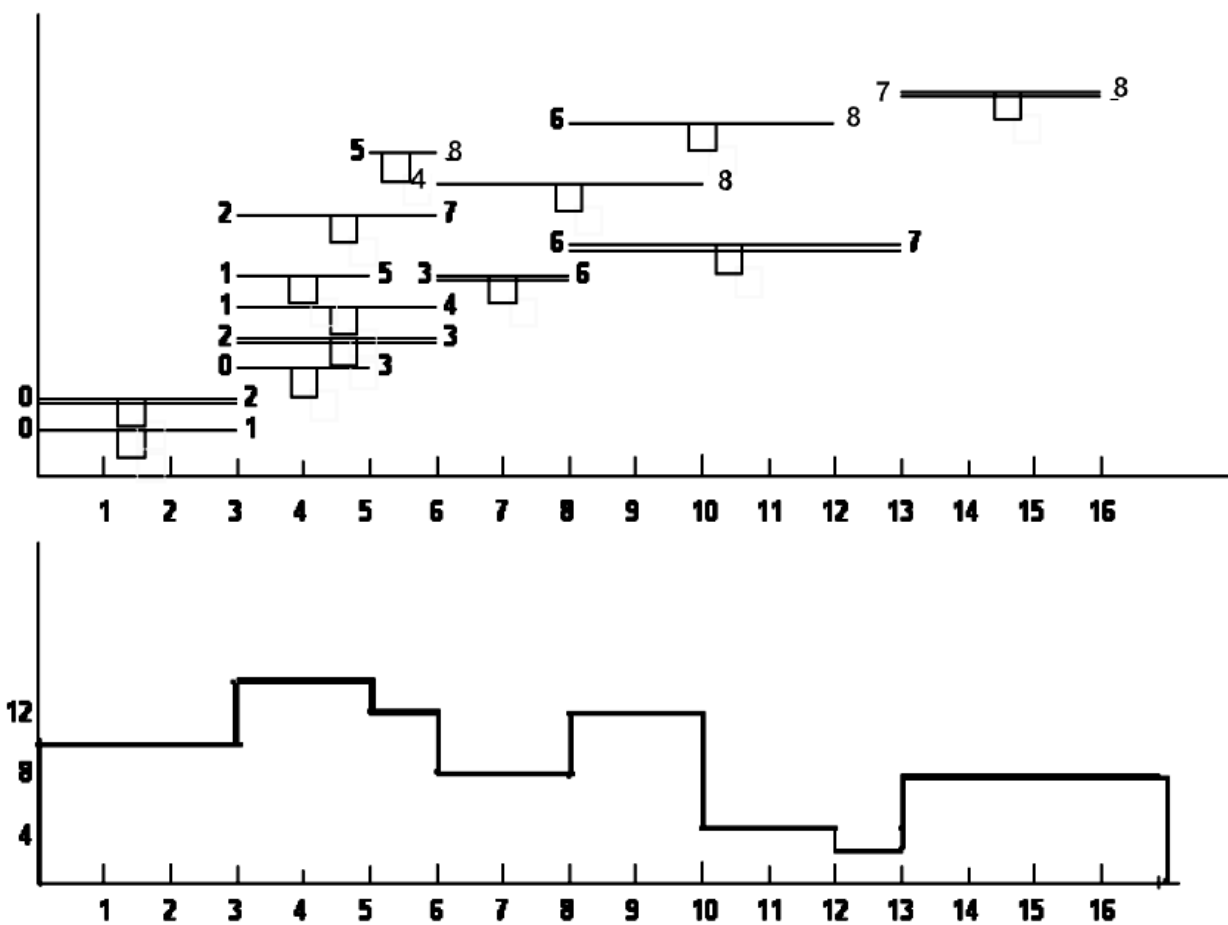


Рисунок 4.3 – Диаграмма и график ежедневной потребности ресурсов

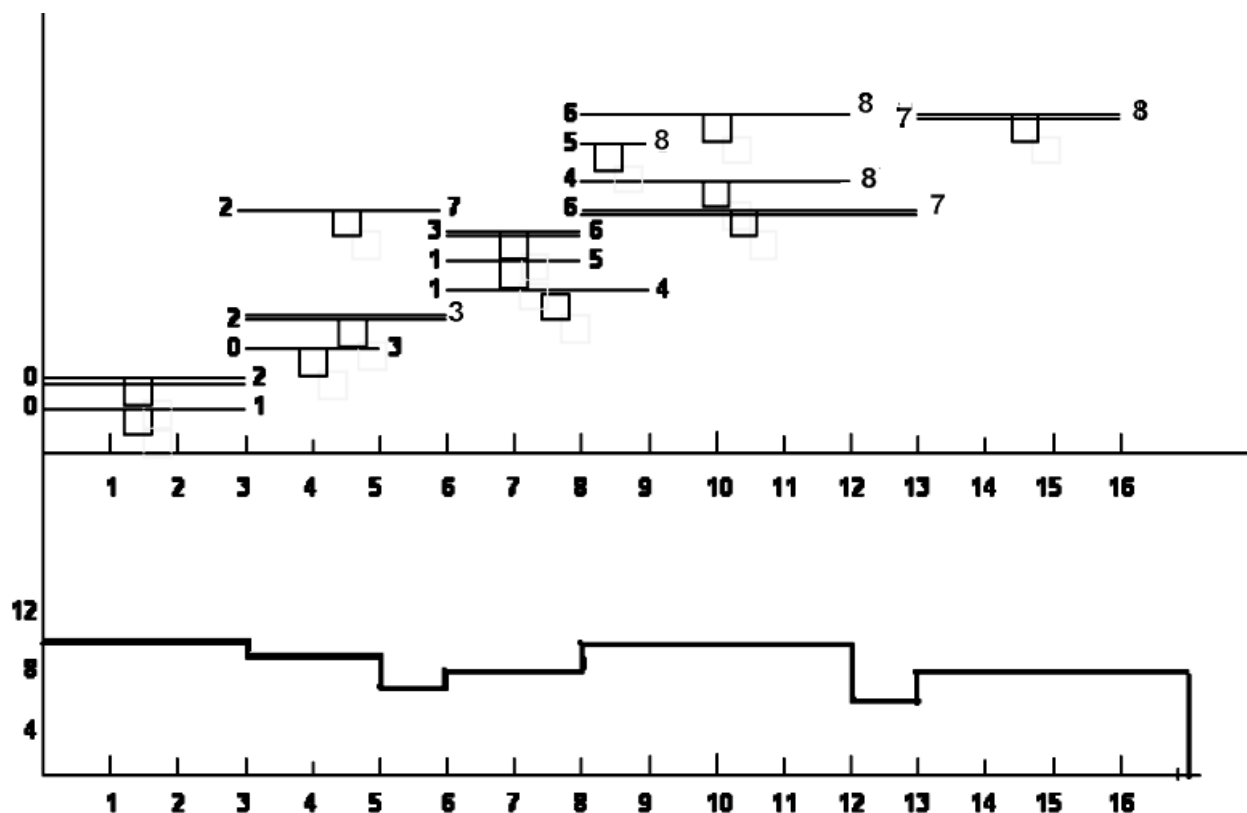


Рисунок 4.4 – Диаграмма ленточного графика и карты проекта  
Представим обобщающий график «Время - затраты», которые расходятся на проект (Рис. 4.5).

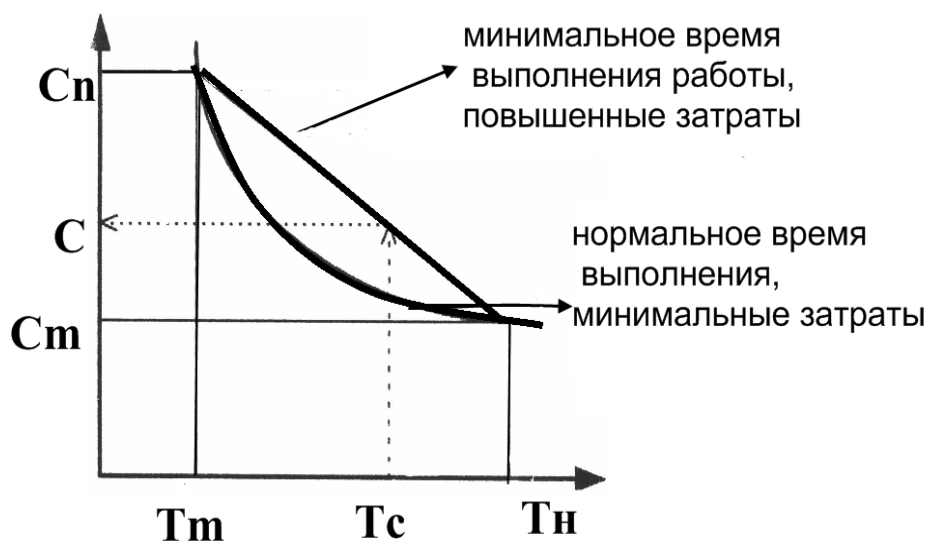


Рисунок 4.5 – График «Время - затраты»

## 5 ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

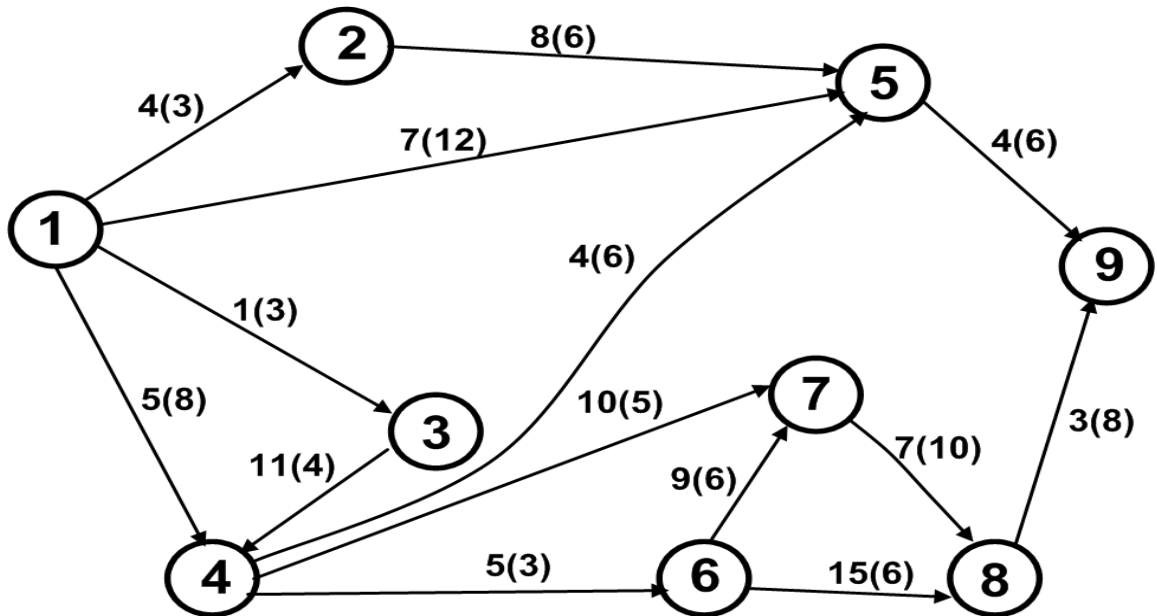


Рисунок 5.1

1. (Рис.5.1) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Провести оптимизацию с целью сокращения общего срока выполнения работ при условии, что работы 1-6, 6-8, 4-5, 7-8 выполняются работниками одной квалификации, для выполнения остальных работ требуются работники другой квалификации.

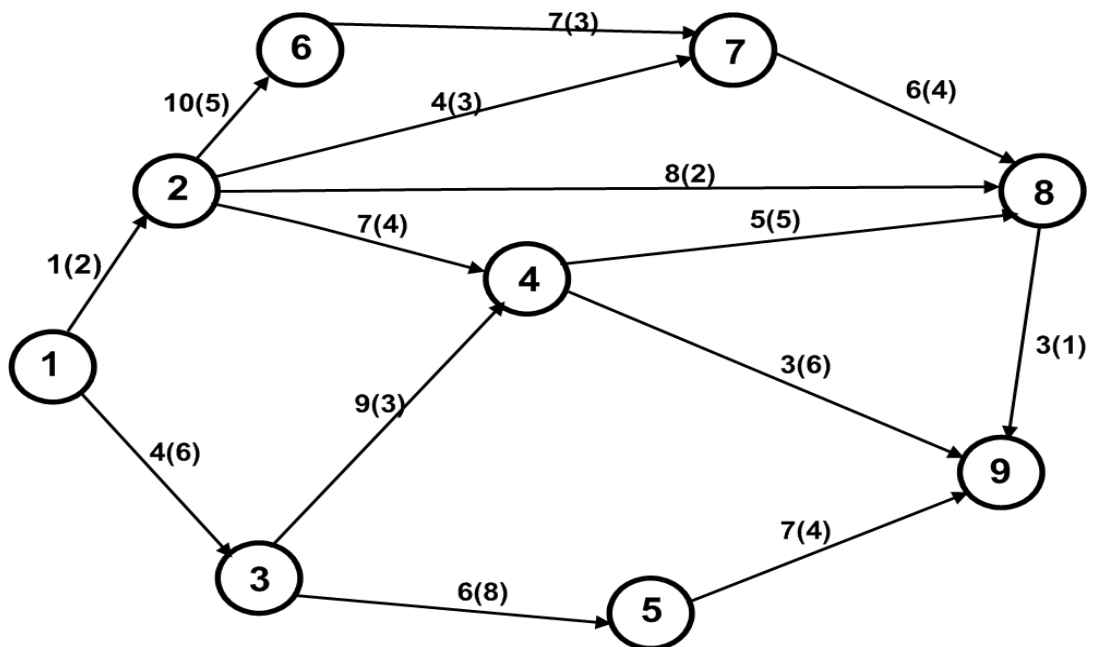


Рисунок 5.2

2. (Рис. 5.2) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути и его длительность. Построить график в масштабе времени и провести оптимизацию с целью такого распределения рабочих, чтобы каждый день было занято не более 10 человек.

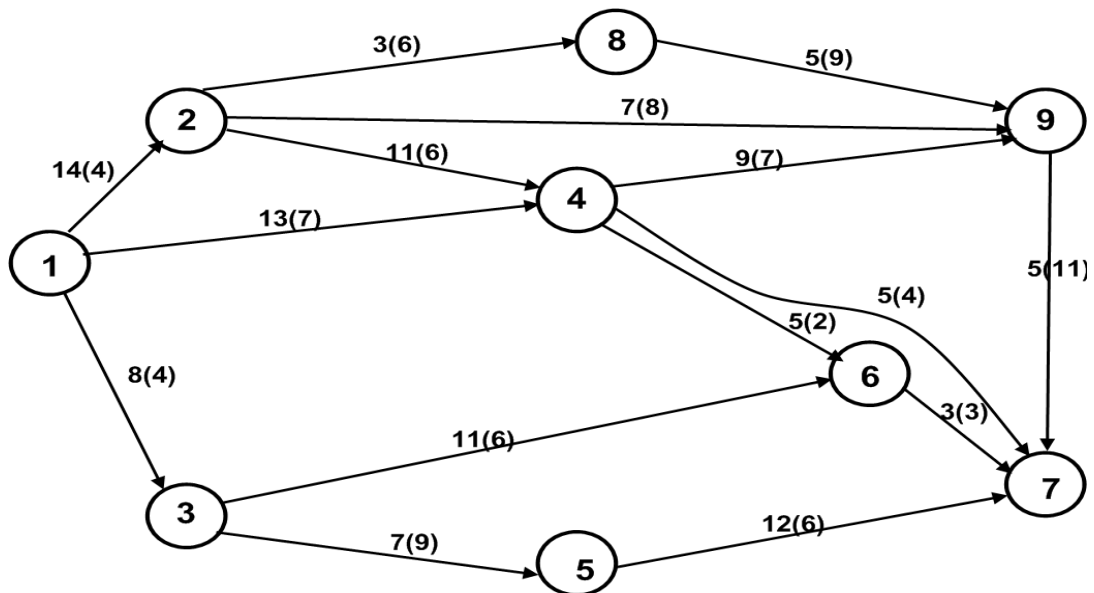


Рисунок 5.3

3. (Рис. 5.3) Рассчитать графическим методом сетевую модель. определить работы, лежащие на критическом пути. Провести оптимизацию графика с целью сокращения длительности разработки, при условии, что все работы выполняются работниками одной квалификации.



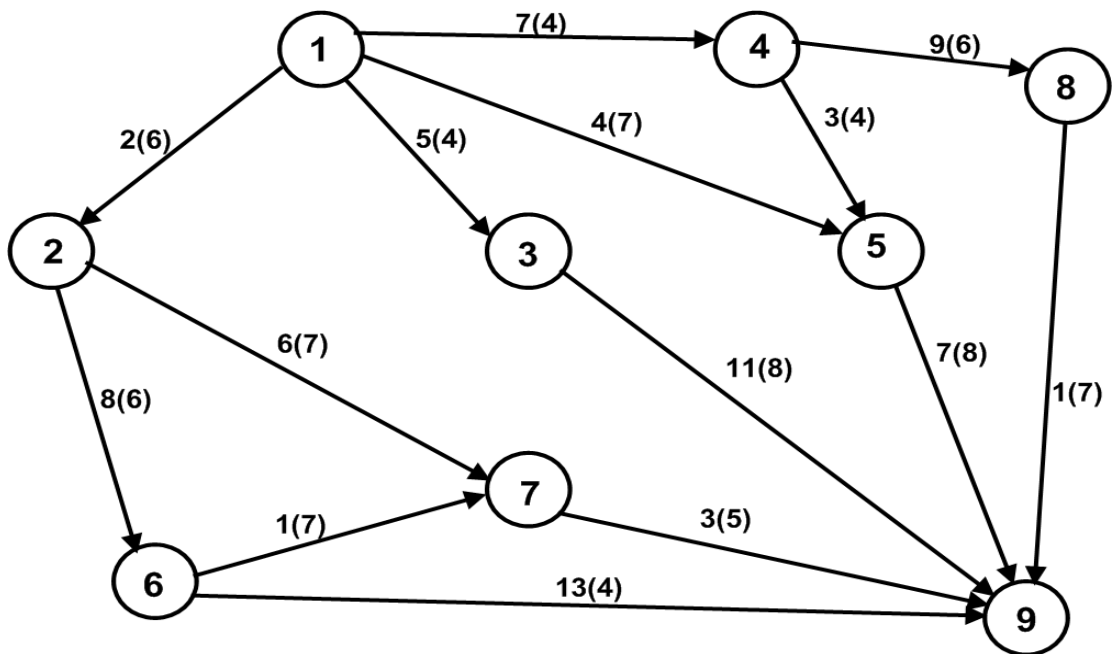


Рисунок 5.4

4. (Рис. 5.4) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Построить график в масштабе времени и провести оптимизацию с целью равномерной загрузки членов бригады ежедневно. Определить после оптимизации численность бригады.

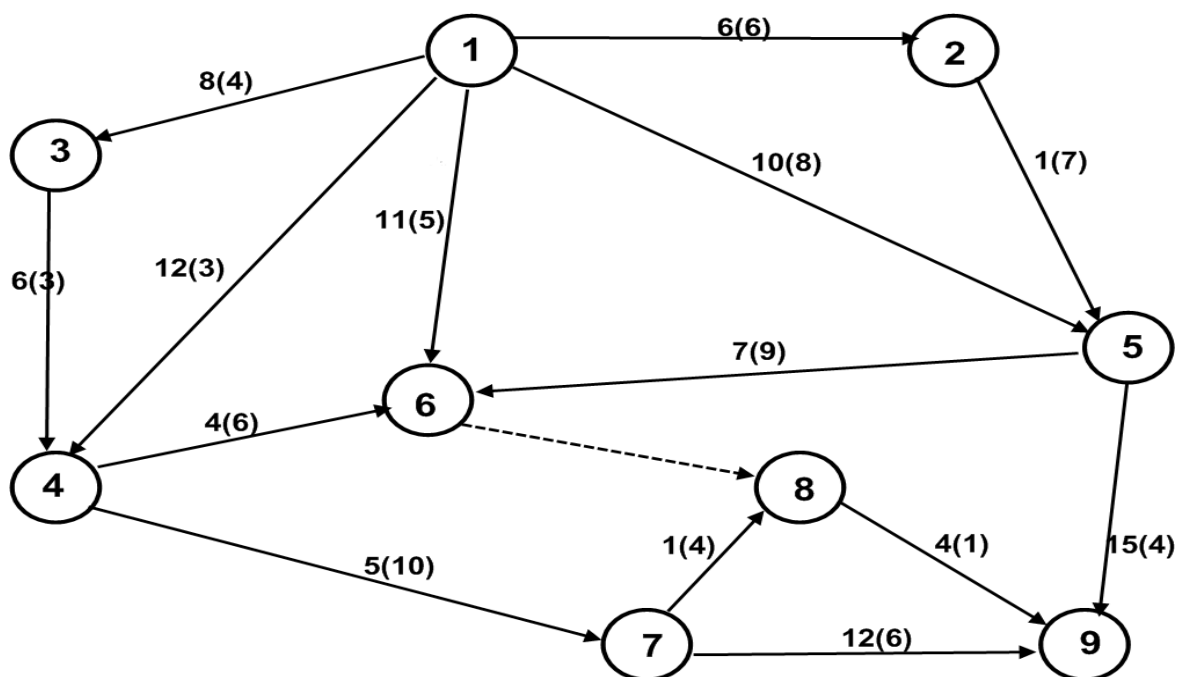


Рисунок 5.5

5. (Рис. 5.5) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Провести оптимизацию с целью сокращения числа занятых работников и срока разработки, учитывая, что все работы выполняются работниками одной квалификации.

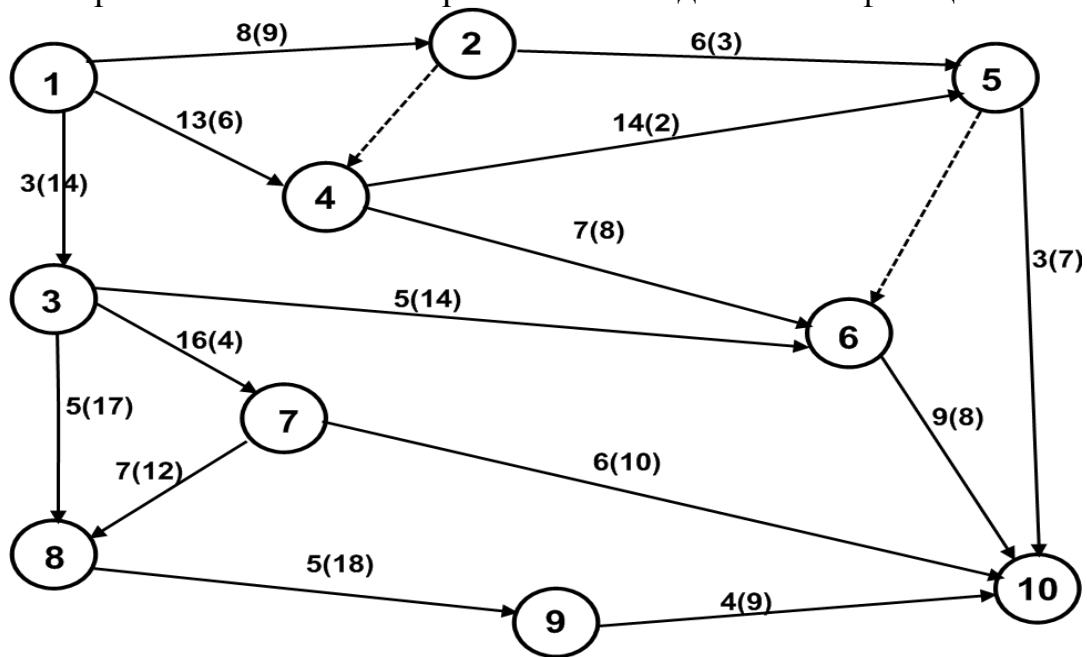


Рисунок 5.6

6. (Рис. 5.6) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Провести оптимизацию графика с целью сокращения сроков разработки при условии, что работы 4-6, 7-10, 8-9 выполняются работниками одной квалификации. Остальные работы выполняются работниками другой квалификации.

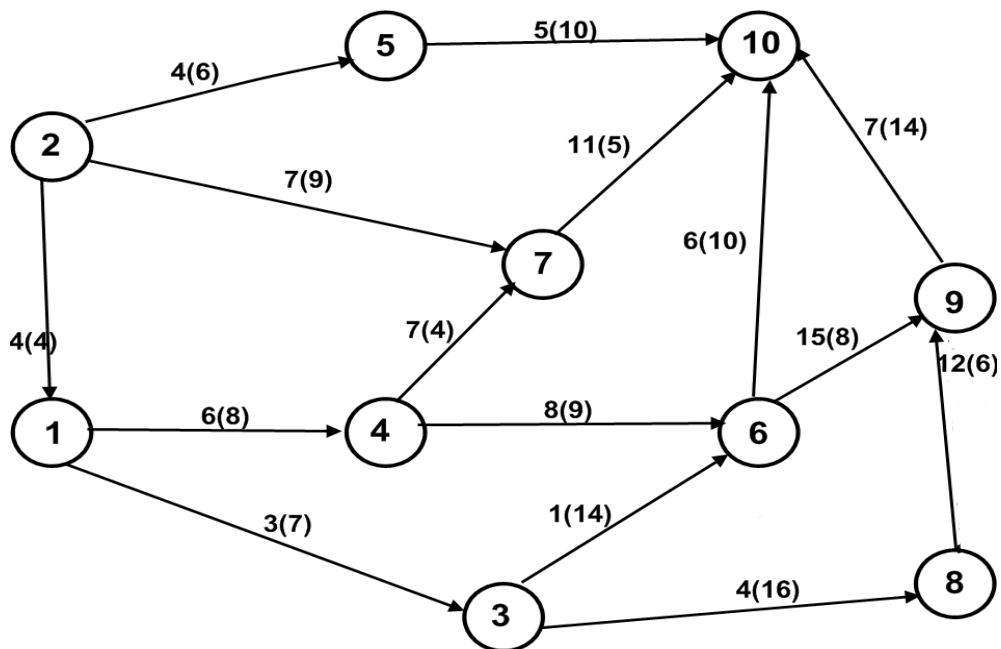


Рисунок 5.7

7.(Рис. 5.7) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Построить график в масштабе времени и провести оптимизацию с целью равномерной загрузки рабочих ежедневно.

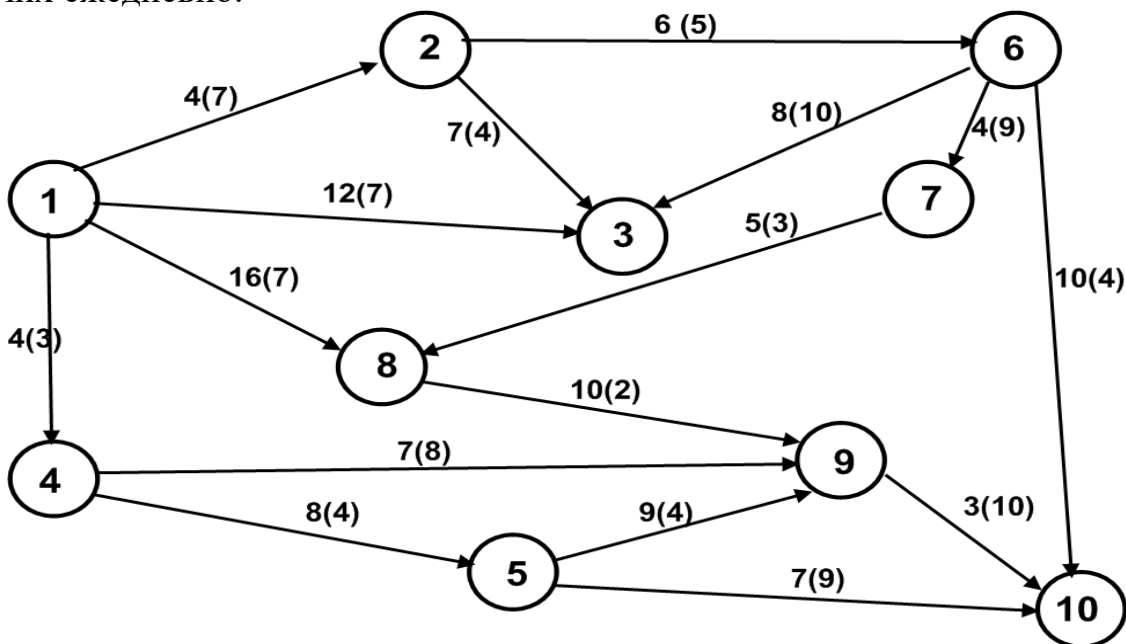


Рисунок 5.8

8. (Рис.5.8) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Провести оптимизацию

графика с целью сокращения длительности разработки. Построить график (после оптимизации) в масштабе времени и определить число рабочих, ежедневно необходимое на участке.

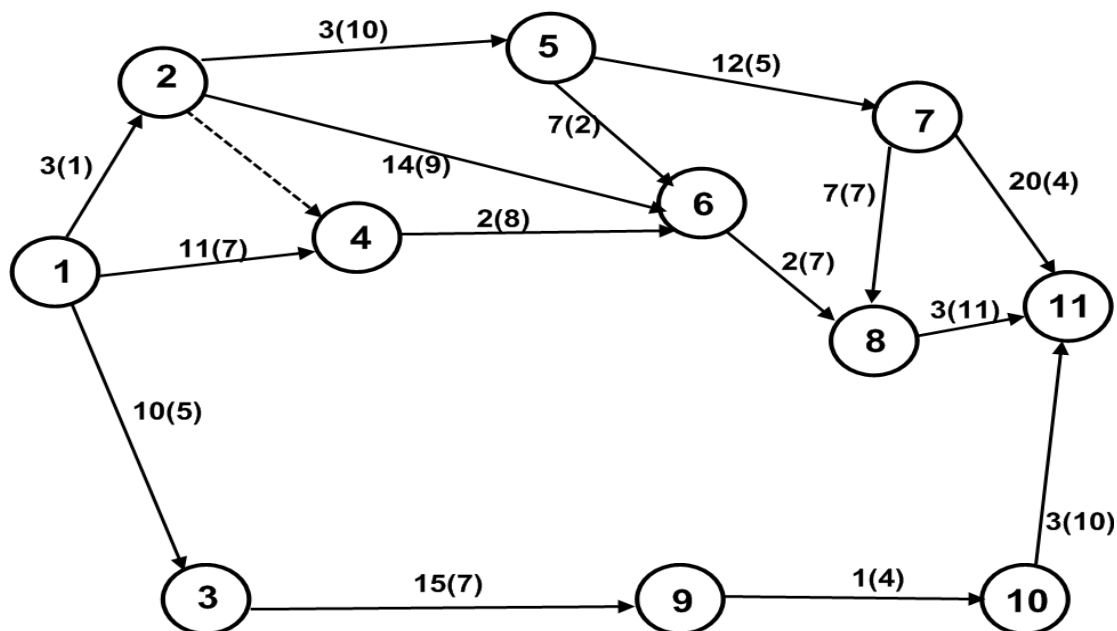


Рисунок 5.9

9. (Рис. 5.9) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Построить график в масштабе времени и провести оптимизацию с целью равномерной загрузки бригады рабочих по дням недели.

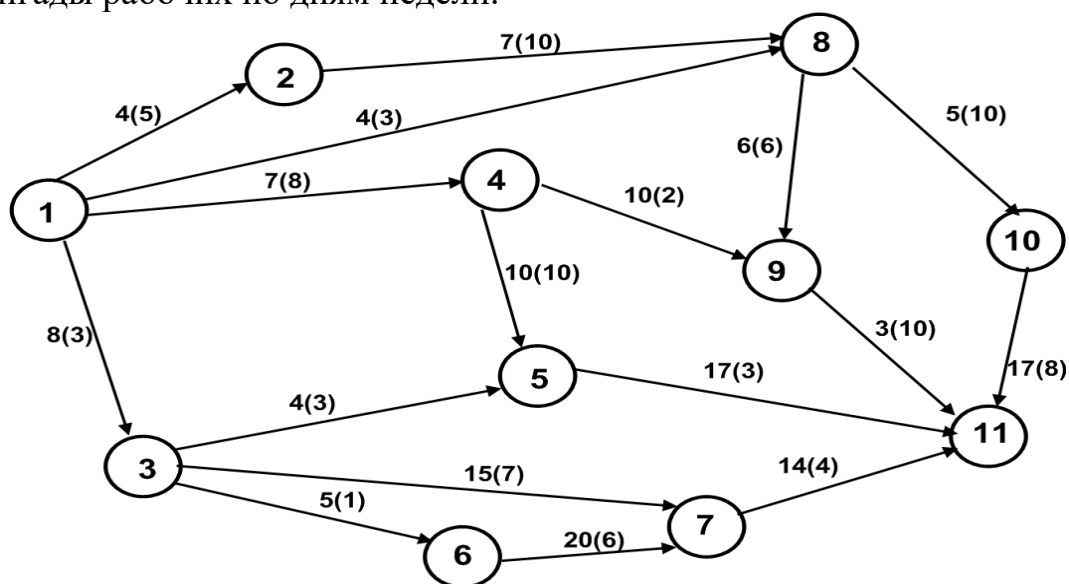


Рисунок 5.10

10. (Рис. 5.10) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Провести оптимизацию графика с целью сокращения длительности разработки и равномерной загрузки рабочих, исходя из того, что все работы выполняются работниками одной квалификации и число рабочих, занятых в один день, не должно превышать 15 человек.

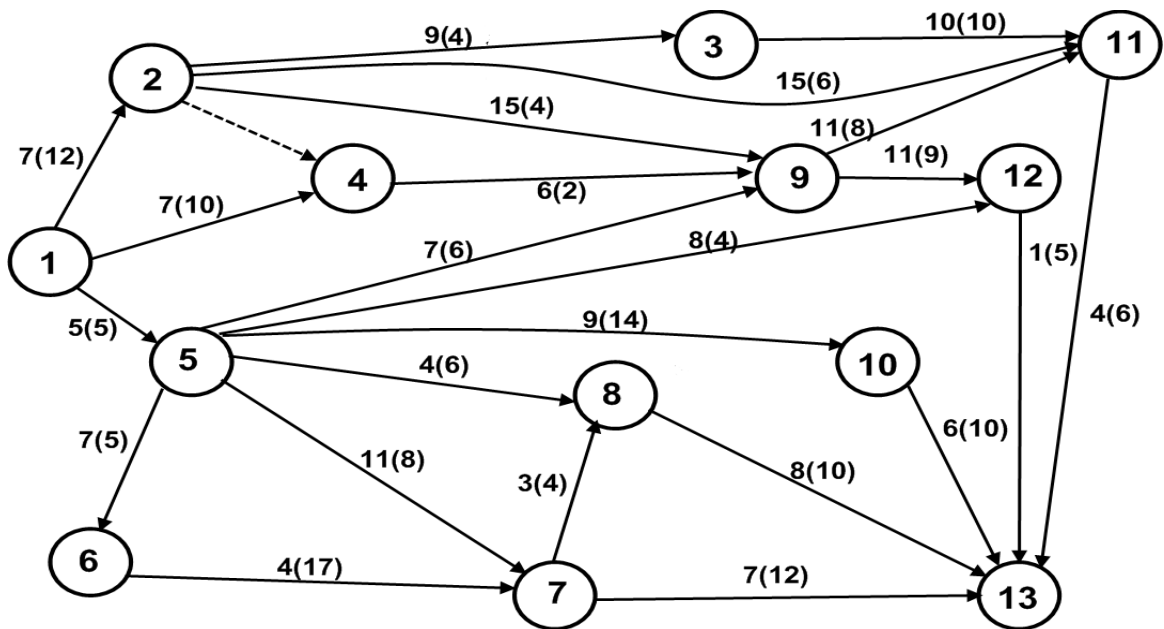


Рисунок 5.11

11. (Рис. 5.11) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Провести оптимизацию с целью сокращения длительности разработки и равномерной загрузки рабочих, исходя из того, что работы 1-2, 1-4, 5-9, 4-9 выполняются рабочими 5-го разряда; работы 1-5, 5-8, 7-8, выполняются рабочими 4-го разряда; работы 12-13, 8-13, 6-7 7-13 выполняются рабочими 3-го разряда; все остальные работы выполняются работниками 6-го разряда.

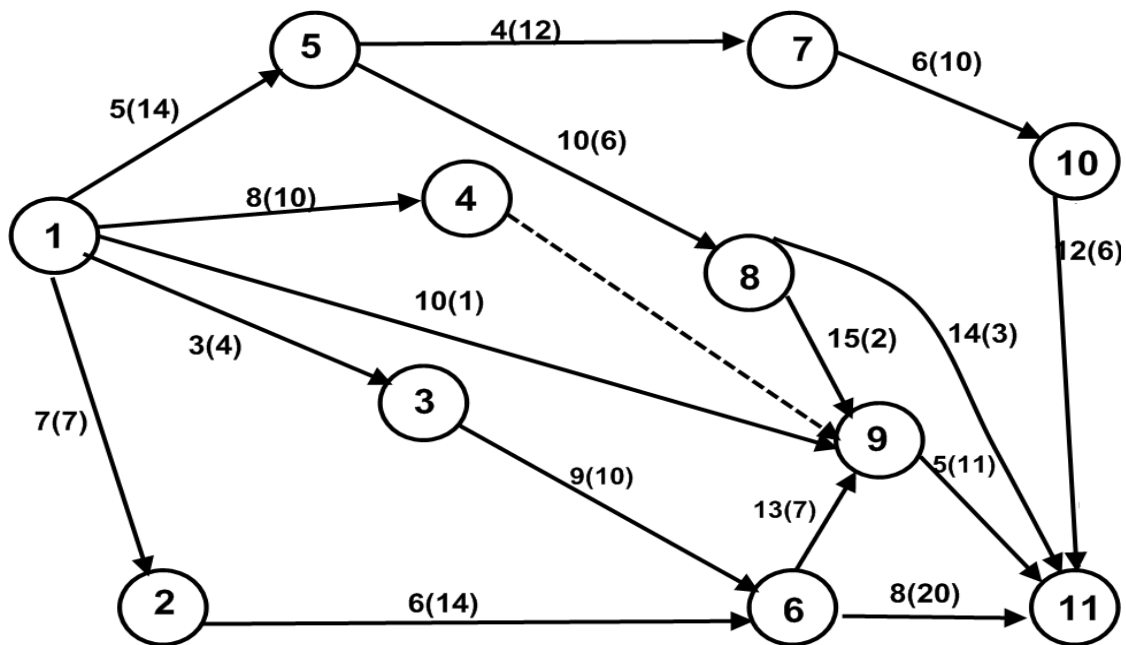


Рисунок 5.12

12. (Рис. 5.12) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Провести оптимизацию с целью сокращения числа рабочих запятых ежедневно, без изменения срока разработки. Построить в масштабе времени и показать ежедневное количество рабочих.

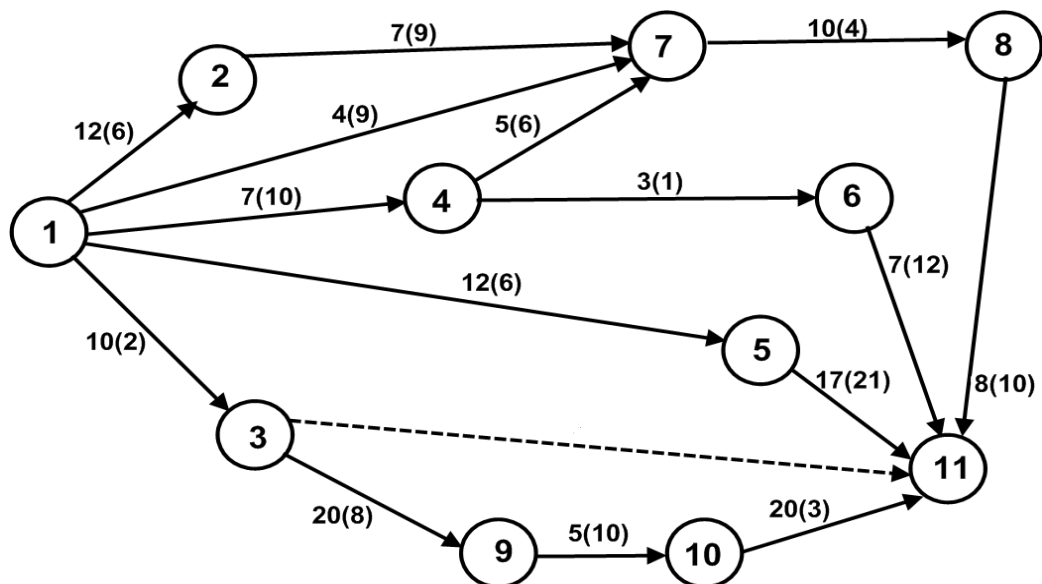


Рисунок 5.13

13. (Рис. 5.13) Рассчитать графическим методом сетевую модель.

Определить работы, лежащие на критическом пути. Провести оптимизацию графика с целью сокращения длительности критического пути, что число работников занятых ежедневно, не должно превышать 16 человек.

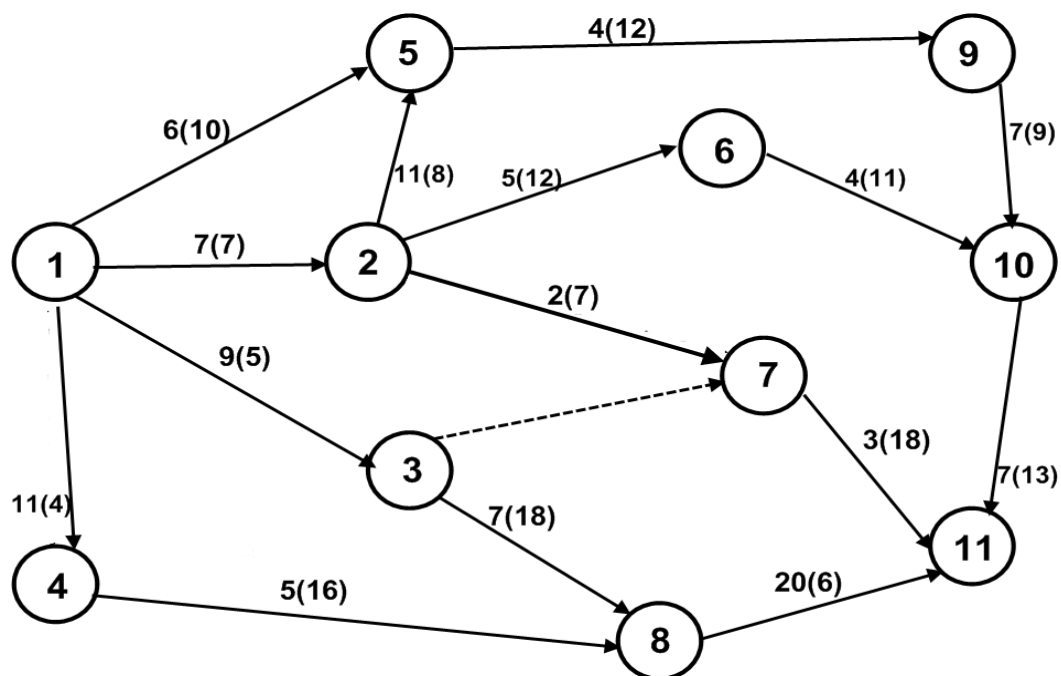


Рисунок 5.14

14. (Рис. 5.14) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Построить график в масштабе времени и провести оптимизацию графика с целью распределения рабочей силы и возможного сокращения длительности критического пути.

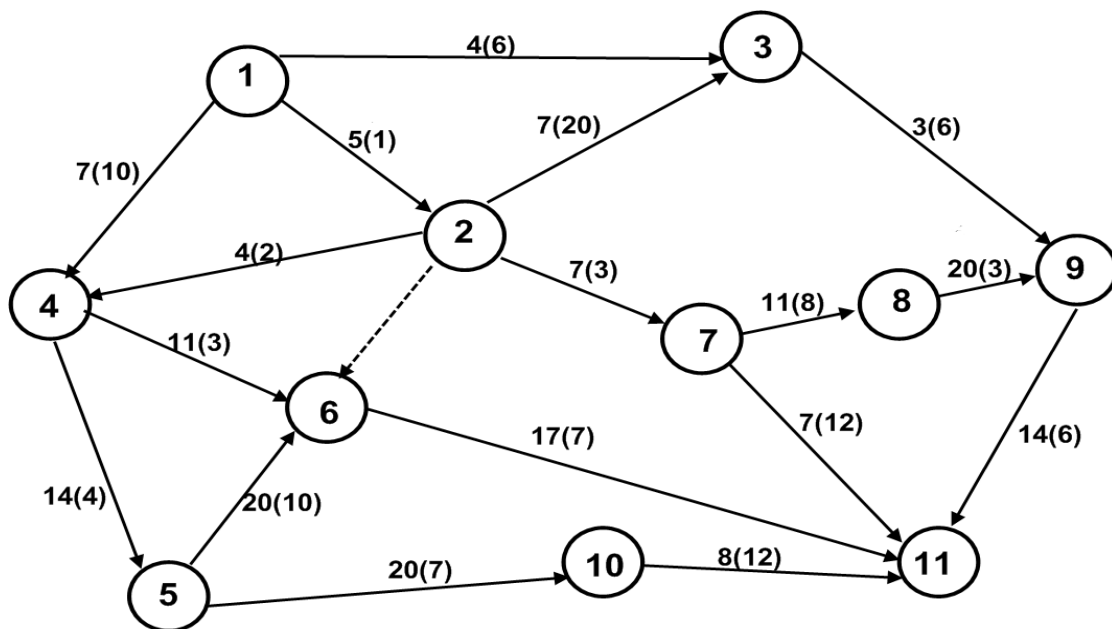


Рисунок 5.15

15. (Рис. 5.15) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Построить график в масштабе времени и провести оптимизацию графика с целью сокращения численности рабочих, занятых ежедневно, не изменяя конечного срока разработки.

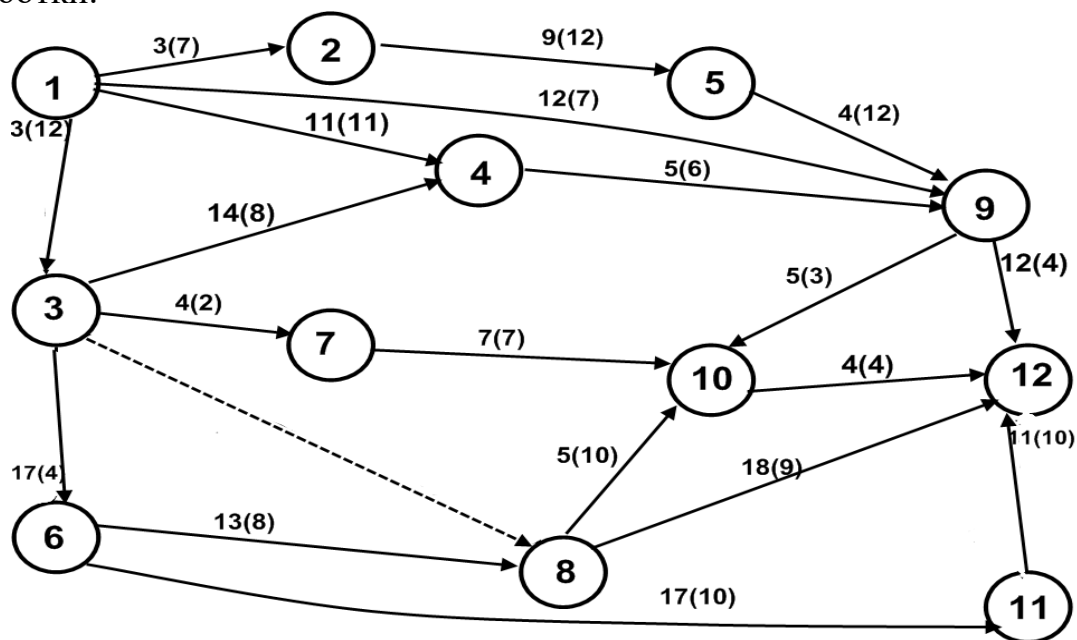


Рисунок 5.16

16. (Рис. 5.16) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Построить график в



масштабе времени и провести оптимизацию графика с целью сокращения общего срока разработки и численности ежедневно занятых работников.

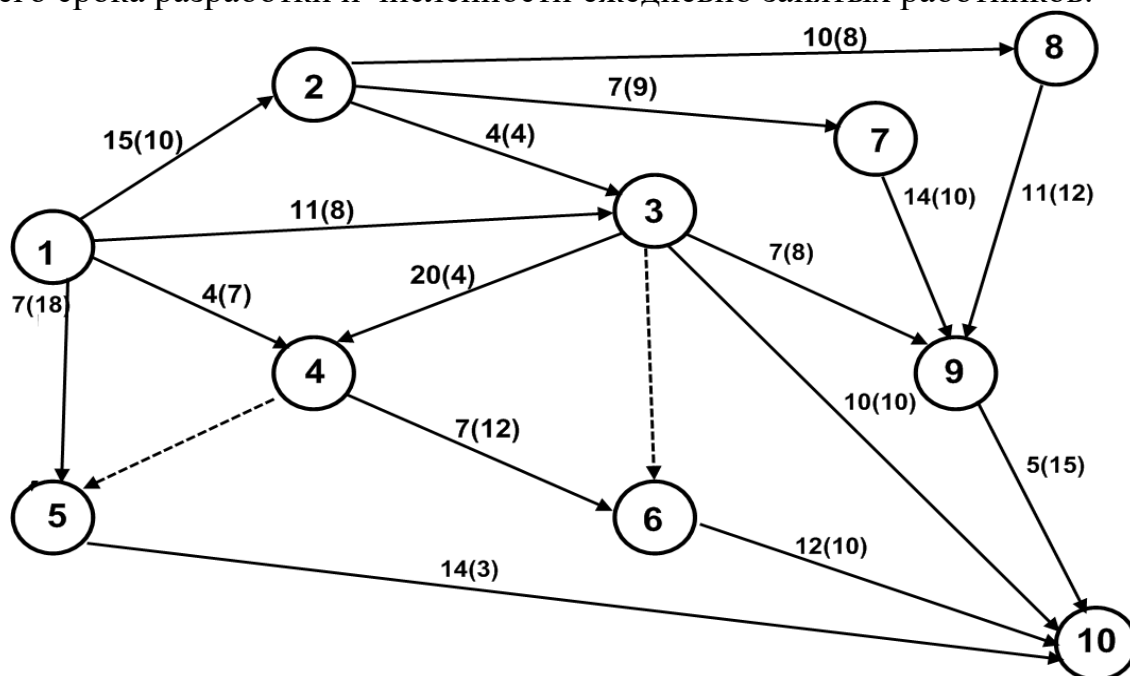


Рисунок 5.17

17. (Рис. 5.17) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Провести оптимизацию с целью сокращения числа рабочих, занятых ежедневно, учитывая при этом, что работы 1-2, 3-4, 8-9, 6-10 выполняются рабочими 5-го разряда, а остальные работы выполняются рабочими 4-го разряда.

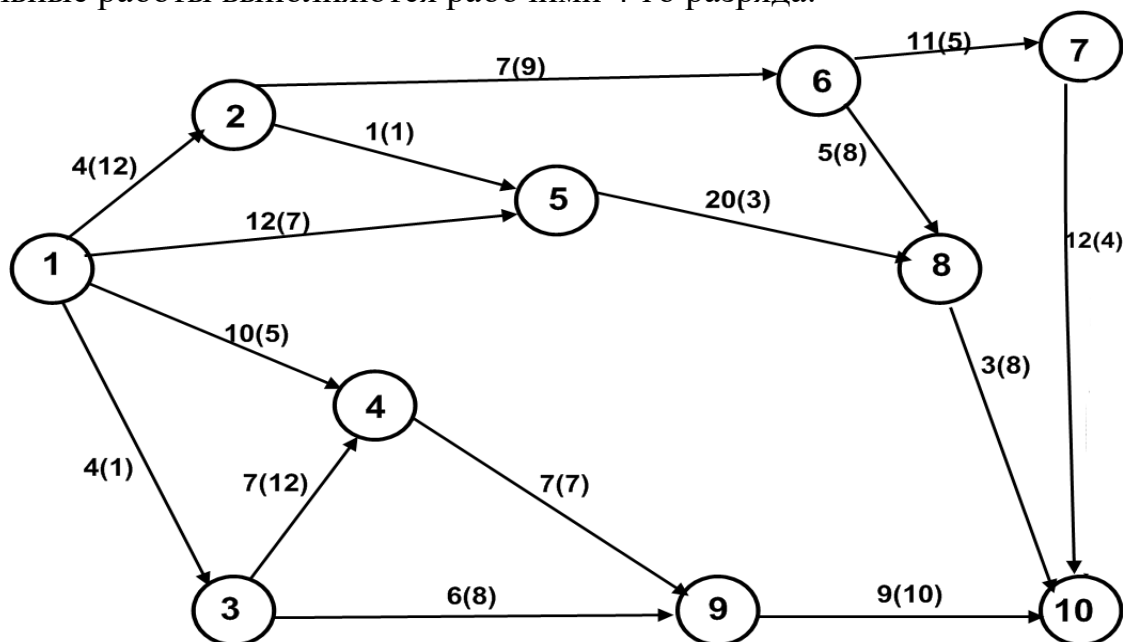


Рисунок 5.18

18. (Рис. 5.18) Рассчитать графическим методом сетевую модель. Определить работы, лежащие на критическом пути. Построить график в масштабе времени и провести оптимизацию с целью равномерной загрузки рабочих по дням недели.

## **6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет должен содержать:

1. Аналитический расчет и графическое изображение сетевого графика по заданию.
2. Табличный метод расчета сетевого графика.
3. Оптимизация сетевого графика.

## **7. НАБОР ТИПОВЫХ ЗАДАЧ**

### **Задача 1**

Укажите правильную последовательность событий по проектированию и изготовлению стенда: «заготовка для стола стенда готова», «технические условия на стенд разработаны», «стенд испытан и готов к эксплуатации», «стол и механизм для передачи вибраций готовы», «общая компоновка стенда готова», «решение о проектировании стенда принято», «поставщики узлов утверждены», «заказ на изготовление приобретаемых на сторону узлов принят», «проект механизма передачи вибраций готов», «механизм передачи вибраций смонтирован, покупные узлы получены».

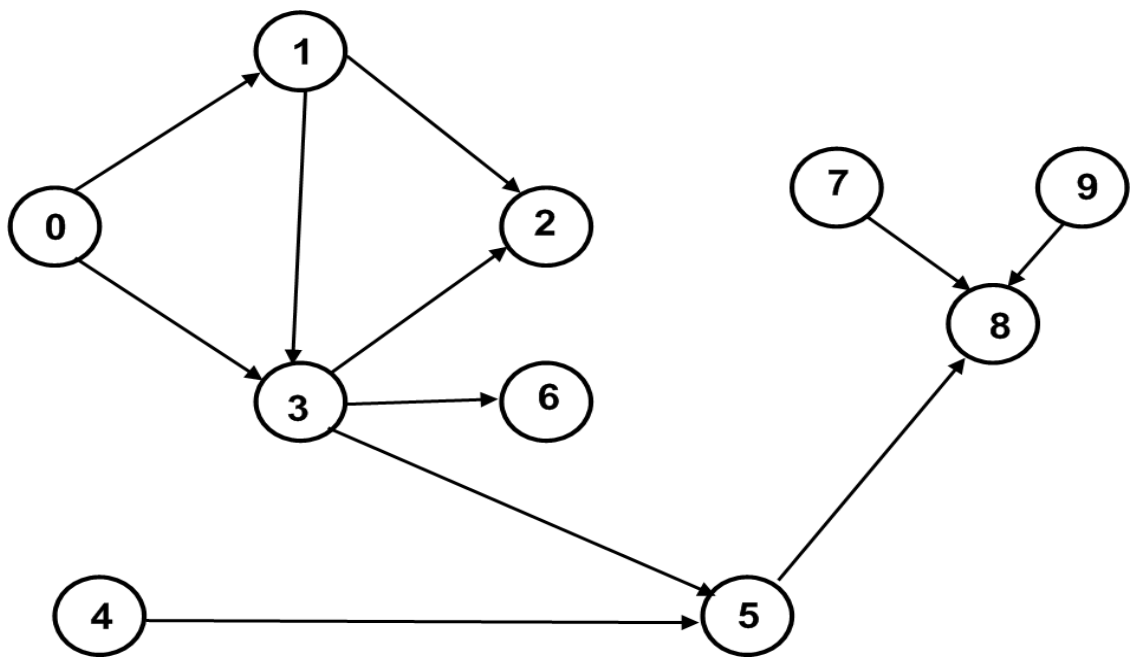


Рисунок 7.1

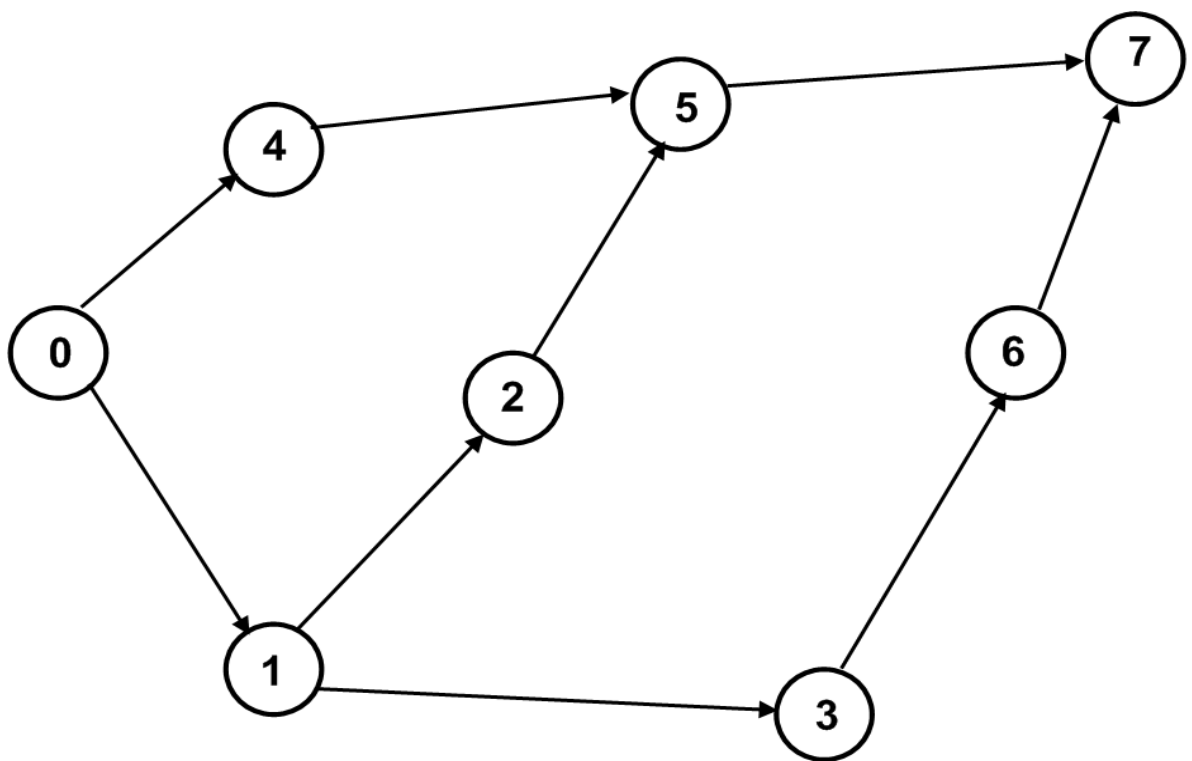


Рисунок 7.2

## Задача 2

Из фрагмента сети, приведенной на рисунке, найти наиболее ранние из возможных и наиболее поздние из допустимых. Сроки свершения событий 23 и 26. Указать, какие работы графика имеют свободные резервы.

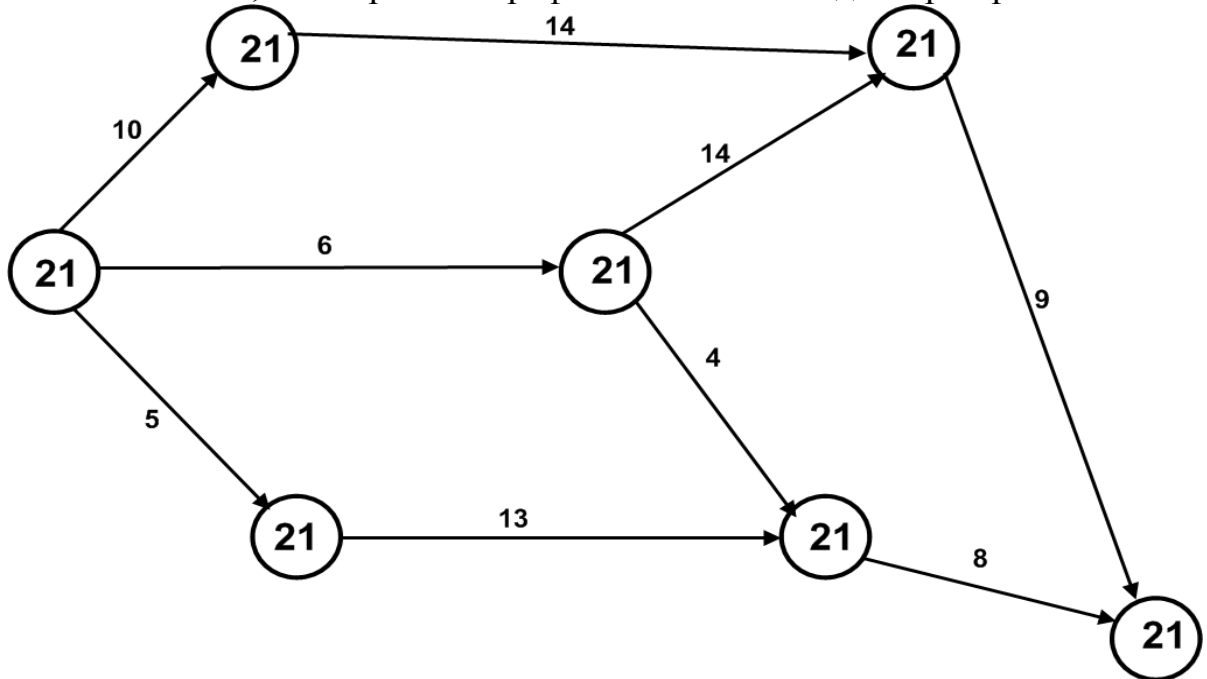


Рисунок 7.3

### Задача 3

Рассчитать сеть по всем параметрам, представив предварительно значения продолжительностей выполнения работ, исходя из срока свершения завершающего события  $T_p = T_n = 65$  дней и при условии, что критический путь проходит через события 1 – 3 – 9 – 10 – 11 – 12.

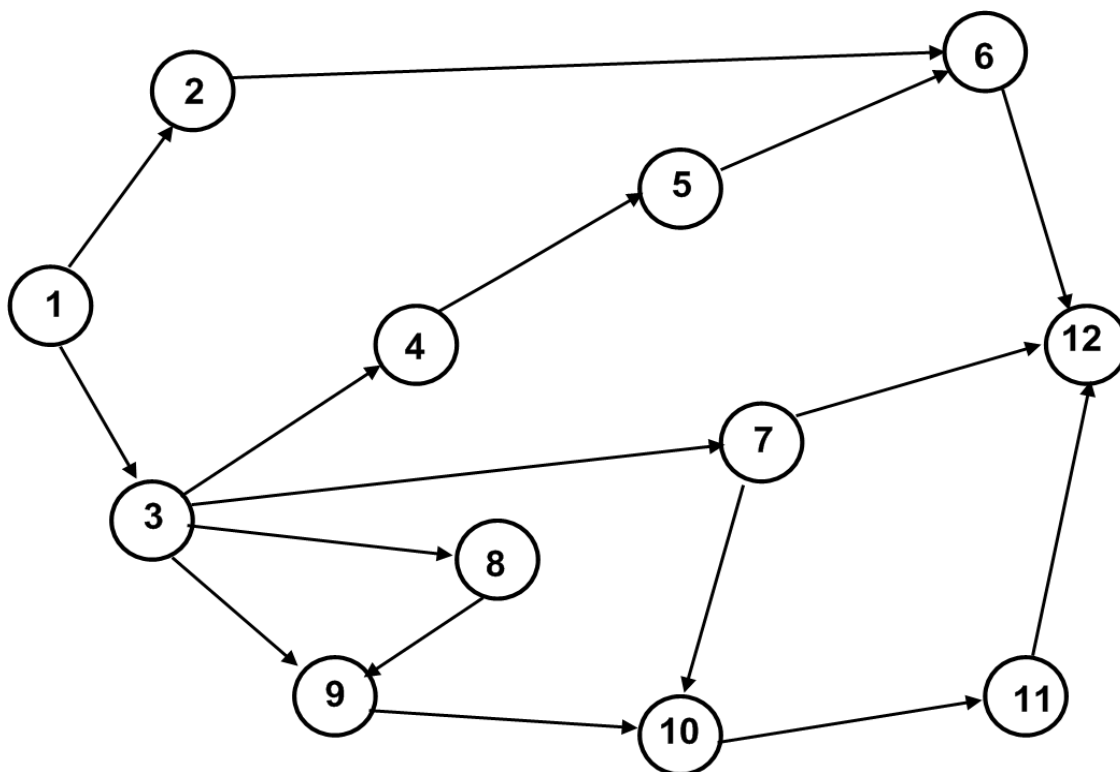


Рисунок 7.4

#### Задача 4

Рассчитать на графике и табличным методом параметры сети, построенной на основе следующих данных:

Таблица 5 – Данные к задаче 4

код работ	$t_{ож}$ , дни	код работ	$t_{ож}$ , дни	код работ	$t_{ож}$ , дни	код работ	$t_{ож}$ , дни
0,1	8	1,6	5	3,4	11	7,11	9
0,2	6	2,3	17	4,7	3	8,11	14
0,3	7	2,4	6	5,8	13	9,10	5
1,2	12	2,5	16	6,8	7	10,12	7
1,5	8	2,7	11	6,9	4	11,12	13

#### Задача 5

Рассчитать и проставить на графике параметры событий, найти параметры событий и работ табличным методом и сверить результаты, найденные обоими методами, для сети, построенной на основе следующих данных о последовательности и ожидаемых продолжительностях работ:

Таблица 6 - Данные к задаче 5

код работ	$t_{ож}$ , дни	код работ	$t_{ож}$ , дни	код работ	$t_{ож}$ , дни	код работ	$t_{ож}$ , дни
0,1	8	1,7	3	2,11	7	7,9	13
0,2	16			3,10	9	8,12	5
0,3	11	9,10	8	4,5	14	11,15	8
0,4	7	9,13	10	4,9	1	12,15	9
0,5	2	9,14	6	5,9	11	13,15	5
1,6	12	10,15	17	6,8	7	14,15	13

Определить, через какие события проходит критический путь, найти работы и события с наибольшими резервами времени.

### Задача 6

Провести оптимизацию сетевого графика путем перераспределения исполнителей на ненапряженных путях на работы критического пути.

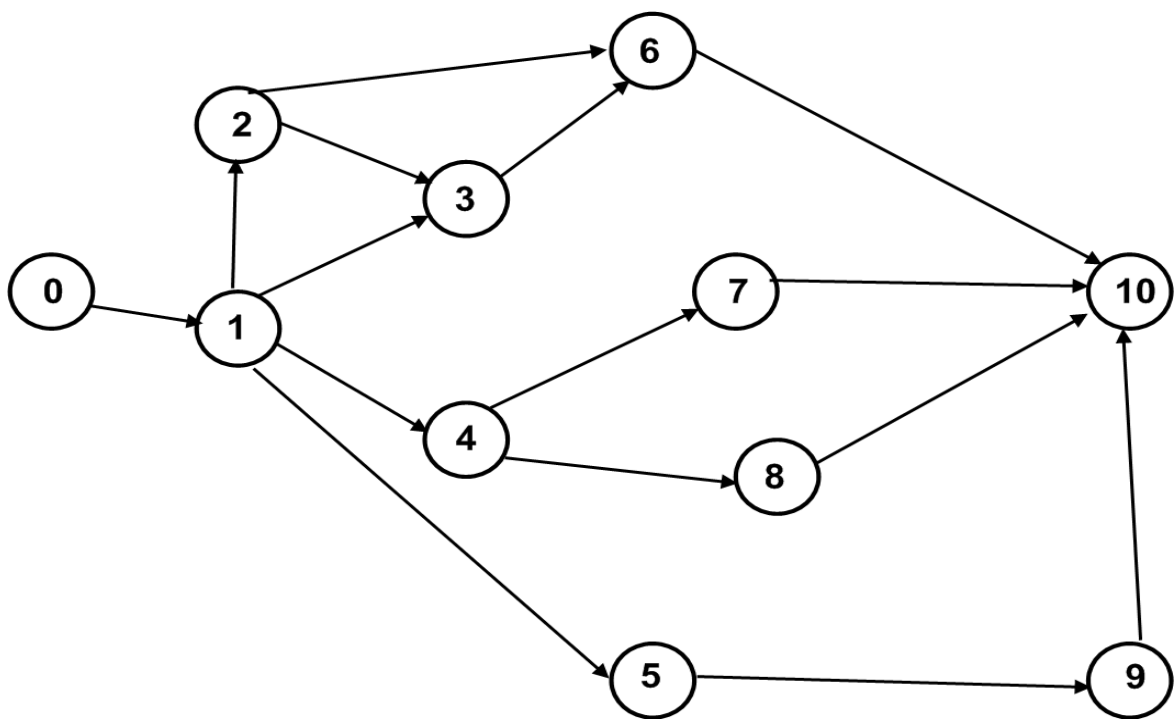


Рисунок 7.5

При оптимизации достичь сокращения критического пути не менее, чем на 12%. Не рекомендуется иметь в сети более двух критических путей. Данные для построения сетевого графика и расчета следующие:

Таблица 7 – Данные к задаче 6

код работ	$t_{ож},$ дни	код работ	$t_{ож},$ дни	код работ	$t_{ож},$ дни
0,1	6	2	3,9	30	6
1,2	12	4	4,6	20	5
1,3	12	4	5,6	9	3
1,4	25	5	5,8	16	4
1,5	6	3	6,9	35	7
2,3	4	2	7,9	14	5
2,7	4	2	8,9	15	5

### Задача 7

Задан сетевой график. Вычислить все основные характеристики работ и событий. Найти критический путь и его продолжительность. Построить график Ганта.

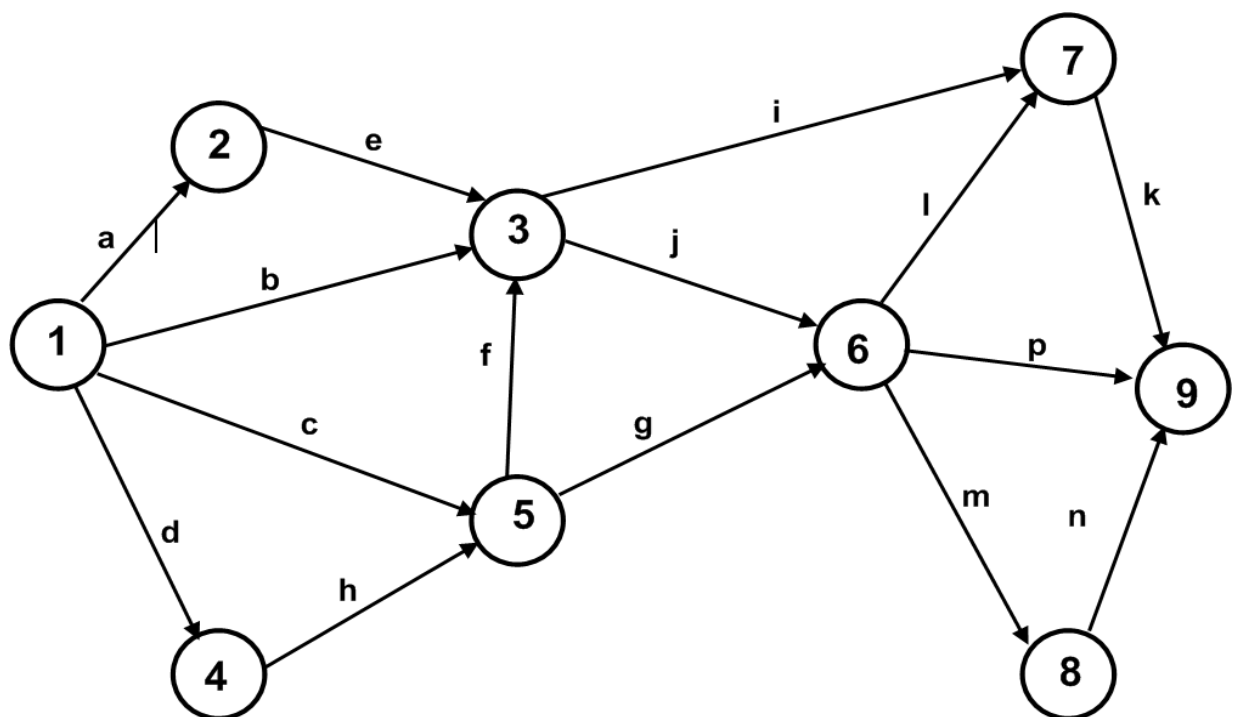


Рисунок 7.6

## 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие задачи ставятся при планировании комплексной подготовки производства?
2. Какова основная идея сетевого планирования и управления?
3. Назовите основные элементы сетевого графика.
4. Перечислите правила построения сетевых графиков.
5. Как рассчитывается длительность выполнения отдельных работ сетевого графика?
6. Как определяются ранние и поздние сроки свершения событий в сетевой модели?
7. Что определяет собой критический путь в сетевом графике?
8. В чем суть организации сетевого графика?

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Менеджмент: учебник 3-е изд. / О.С.Виханский. - М. : Фирма Гардарика, 2006. – 416 с.
2. Веснин В.Р. Основы менеджмента / В.Р.Веснин. – М. : Гном-пресс при сод. Т.Д. Эдит 2000, 2001. – 440 с.
3. Фатхутдинов Р.А. Производственный менеджмент /Р.А. Фатхутдинов: учебник для вузов. - М. : Банки и Биржи, ЮНИТИ, 2001.– 447 с.









Заказ № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015. Тираж \_\_\_\_\_ экз.

Изд-во СГУ