



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Экономика и менеджмент в машиностроении»

Учебно-методическое пособие

«Сетевое планирование»

к проведению лабораторных и
практических занятий по дисциплине
«Производственный менеджмент»

Авторы
Авласенко И. В., Авласенко Л. М., Пешхоев И. М.

Ростов-на-Дону, 2016



Аннотация

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов очной и очно-заочной форм обучения направления 38.03.02 – Менеджмент.

Авторы

к.э.н., доц. каф. «ЭММ» Авласенко И. В.,
доц. каф. «ЭММ» Авласенко Л. М.,
к.ф.-м.н., доц. каф. «ИТ» Пешхоев И. М.





Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ	4
2. РАСЧЕТ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ	17
ЛИТЕРАТУРА	26

ВВЕДЕНИЕ

В производственном менеджменте часто встречается задача планирования сложного проекта, для которого нужно рассчитать оптимальные сроки выполнения, учитывая протяженности во времени и взаимосвязи отдельных этапов проекта. Примерами могут быть проекты производства опытных образцов различных изделий, включающие все этапы от разработки технической документации, подготовки технических условий, до выпуска изделия, а также проекты строительства производственных линий. Для решения таких задач может применяться метод **сетевого планирования**, использующий графическое представление связей между выполняемыми работами.

Целью методических указаний является обучение студентов:

- составлению сетевого графика по заданному описанию проекта;
- проведению анализа сетевого графика;
- оптимизации сетевого графика.

Приведены примеры построения, анализа и оптимизации сетевых графиков и варианты заданий для самостоятельного выполнения.

1. ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ

1.1. Понятие сетевого графика

Сетевой график отражает порядок выполнения работ, необходимых для достижения конечной цели проекта. Проект разбивается на четко определенные работы. **Работа** – это некоторый производственный процесс. По количеству затрачиваемого времени работа может называться **действительной**, если требует затрат времени, или **фиктивной**, если не требует затрат времени. Работы четко упорядочены так, что выполнение одних работ может быть начато только после завершения некоторых других, которые называются предшествующими работами.

В **сетевом графике работы** изображаются **дугами** (линиями со стрелкой), которые соединяют **вершины**. Вершинам соответствуют **события**, означающие факт завершения одних и начала других работ. Начальное событие соответствует вершине без входящих дуг, а конечное событие — вершине без исходящих дуг. Направление дуги указывает порядок выполнения работ. Работы обозначаются кодами (i ,

Сетевое планирование

j), где i — номер начального события, j — номер конечного события. Каждой работе (i, j) соответствует необходимое для её выполнения время $t(i, j)$.

Пример 1.1. На рис. 1.1 приведен сетевой график, который содержит пять дуг и пять вершин, т.е. проект состоит из пяти работ $(1, 2)$, $(1, 3)$, $(2, 4)$, $(3, 4)$ и $(4, 5)$ с продолжительностями $t(i, j)$ единиц времени:

$t(1, 2) = 12$, $t(1, 3) = 10$, $t(2, 4) = 8$, $t(3, 4) = 2$, $t(4, 5) = 15$.

Исходное событие обозначено номером 1, а завершающее — номером 5.

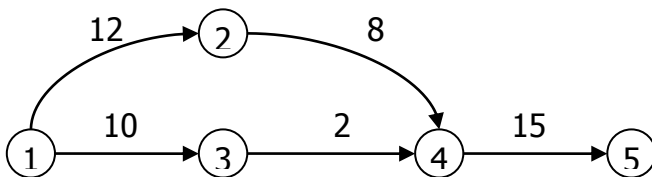


Рис. 1.1. Сетевой график

1.2. Методические указания к построению сетевых графиков

При построении сетевого графика необходимо следовать следующим правилам:

1) каждая работа должна быть представлена только одной дугой;

2) между двумя событиями не должно быть более одной дуги, т.е. не должно быть **параллельных** работ;

3) для каждой работы (i, j) номер начального события должен быть меньше номера конечного события: $i < j$ (правильная нумерация вершин);

4) не должно быть **висячих** событий (т.е. не имеющих предшествующих событий), кроме единственного исходного;

5) не должно быть **тупиковых** событий (т.е. не имеющих последующих событий), кроме единственного завершающего;

6) не должно быть циклов (рис. 1.2).

Кроме этого рекомендуется для действительных работ использовать сплошные линии, а для фиктивных — пунктирные и избегать пересечения дуг.

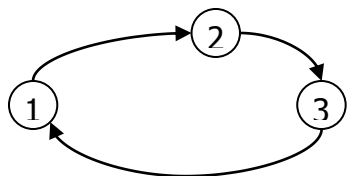


Рис. 1.2. Цикл

Комплекс работ для построения сетевого графика может задаваться списком работ с указанием порядка их выполнения. Если порядок выполнения не указан, то необходимо проанализировать содержание работ и установить их очередность.

Построение сетевого графика необходимо начинать с выявления **исходных** работ. Если согласно условию некоторая работа может выполняться, не ожидая окончания каких-либо других работ, то такая работа является **исходной** и ее начальным событием является **исходное** событие. Если исходных работ несколько, то их дуги выходят все из одного исходного события.

Если, согласно условию, после окончания некоторой работы не должны выполняться никакие другие работы, то такая работа является **завершающей** работой сетевого графика и ее конечным событием является **завершающее** событие. Если завершающих работ несколько, то их дуги заходят все в одно завершающее событие.

Если, согласно условию, несколько работ имеют общее начальное и общее конечное события, то они являются **параллельными**. Для устранения параллельности работ вводят дополнительное событие и фиктивную работу (которой в реальности не соответствует никакое действие) таким образом, чтобы конечные события работ различались (рис. 1.3).

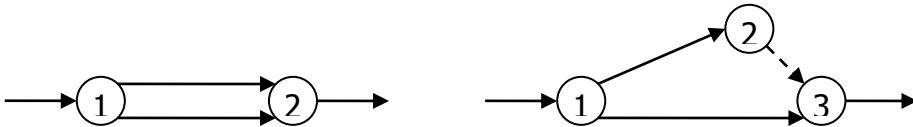


Рис. 1.3. Устранение параллельности двух работ
1.3. Примеры построения сетевых графиков

Пример 1.2. Постройте сетевой график, включающий ра-

Сетевое планирование

боты A, B, C, D, E, F и G . Требуется учесть следующее упорядочение работ:

- 1) работы A, B и C – исходные операции проекта;
- 2) работы A и B предшествуют работе D ;
- 3) работы C, D и E предшествуют работе G ;
- 4) работа A предшествует работам E и F .

Решение. В п. 1 условия явно указано, что A, B и C являются исходными работами, поэтому изобразим их тремя дугами, выходящими из вершины 1 (рис. 1.4).

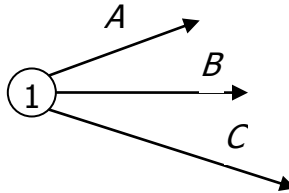


Рис. 1.4

Пункт 2 условия означает, что дуги работ A и B должны закончиться в одной вершине, из которой выйдет дуга работы D . Но поскольку дуги работ A и B также и начинаются в одной вершине, то имеет место параллельность работ, которая недопустима правилами построения сетевых моделей. Для ее устранения введем дополнительное событие 2, в которое войдет работа A , после чего соединим события 2 и 3, в которые входят работы A и B пунктирной дугой фиктивной работы. В данном случае фиктивная работа (2, 3) не соответствует никакой реальной работе, а лишь отображает логическую связь между работами A и D (рис.1.5).

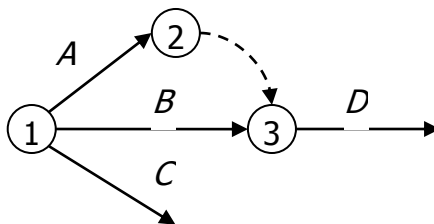


Рис. 1.5

Чтобы выполнить условия п. 3 задачи, введем событие 4, означающее завершение работ C, D и начало работы G . Работа E также предшествует работе G , а начинаться она может лишь после работы A . Назначим работе E дугу (2, 4) (рис. 1.6).

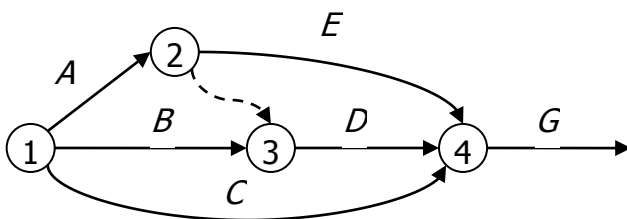


Рис. 1.6

Поскольку в условии не указано, что работа F предшествует каким-либо другим работам, то эта работа является завершающей и её дуга войдёт в завершающее событие 5. А началом этой работы можно считать событие 2. Выберем для обозначения работы F дугу $(2, 5)$. Сетевой график изображен на рис. 1.7.

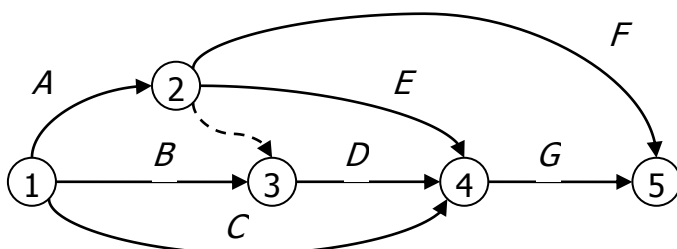


Рис.1.7. Сетевой график примера 1.2

Замечание. Обратите внимание на то, что для практических задач при недостаточно определенных условиях взаимозависимости работ построение сетевых графиков может дать неоднозначные решения! В этом случае необходимо, используя дополнительные условия, выбрать один из полученных сетевых графиков, или провести расчет всех сетевых графиков и выбрать наиболее подходящий.

Пример 1.3. Построить сетевой график монтажа автоматической линии блок-картера. Описание комплекса работ приведено в табл. 1.1.

Таблица 1.1

	Обозначение работы	Описание работы	Продолжительность работы, дни
1	<i>A</i>	Выгрузка оборудования	2
2	<i>B</i>	Транспортирование до монтажной зоны	1
3	<i>C</i>	Распаковка оборудования	5
4	<i>D</i>	Расконсервация	10
5	<i>E</i>	Изготовление фундаментных подушек	6
6	<i>F</i>	Изготовление металлической рамы под фундамент	5
7	<i>G</i>	Монтаж рамы	4
8	<i>H</i>	Разметка под установку оборудования	1
9	<i>I</i>	Изготовление роликового конвейера	6
10	<i>J</i>	Монтаж станков	12
11	<i>K</i>	Электромонтаж	6
12	<i>L</i>	Монтаж роликового конвейера	8
13	<i>M</i>	Заливка фундамента роликового конвейера	1
14	<i>N</i>	Общая сборка	6
15	<i>O</i>	Отладка узлов	20
16	<i>P</i>	Отладка в процессе испытания	10
17	<i>Q</i>	Проверка на прочность	4
18	<i>R</i>	Пуск и прием	1

При построении сетевого графика монтажа автоматической линии необходимо учесть:

- технологическую последовательность выполняемых работ;
- возможное параллельное выполнение работ с целью сокращения срока монтажа;
- правила построения сетевой модели.

Сетевое планирование

Одновременно с построением сетевого графика составляют ведомость расшифровки событий и работ.

Из предварительного анализа комплекса работ по монтажу автоматической линии следует:

1. Работы *A*, *F* и *E* являются исходными работами.
2. Работы *A*, *B*, *C*, *D* должны выполняться в строгой последовательности.
3. Работа *F* может выполняться параллельно с работами *A*, *B*, *C*, *D*, но до начала работы *G*.
4. Работы *E* и *I* могут выполняться последовательно до начала работы *J*.
4. Работы *G*, *H*, *J*, *K* должны выполняться последовательно одна за другой, но только после завершения работы *F*.
5. Работы *L* и *M* могут выполняться параллельно с работой *N*.
6. Работы *O*, *P*, *Q*, *R* должны выполняться последовательно одна за другой, но только после завершения работы *M*.

Исходя из установленного при анализе порядка выполнения работ, строим сетевой график (рис.1.8), на котором над стрелками проставлены обозначения работ в соответствии с данными табл. 1.1.

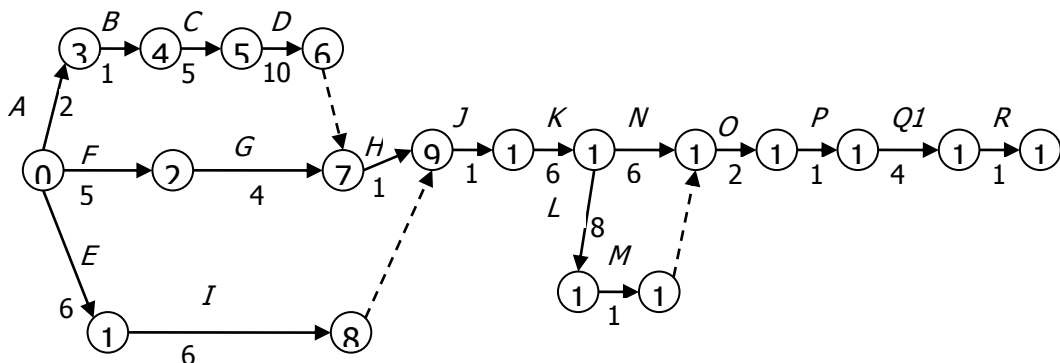


Рис.1.8. Сетевой график примера 1.3

Работы (6, 7), (8, 9) и (13, 14) фиктивные, они указывают порядок выполнения работ. Ниже в табл. 1.2 приведен список событий и работ с обозначениями (кодами) работ и их продолжительностями.

Сетевое планирование

Таблица 1.2

№ события	Содержание события	Обозначение работы	Содержание работы	Продолжительность работы, дни
0	Задание на монтаж получено			
1	Изготовление фундаментных подушек закончено	0 — 1	Изготовление фундаментных подушек	6
2	Изготовление металлической рамы под фундамент закончено	0 — 2	Изготовление металлической рамы	5
3	Оборудование выгружено	0 — 3	Выгрузка оборудования	2
4	Транспортирование выполнено	3 — 4	Транспортирование до монтажной зоны	1
5	Оборудование распаковано	4 — 5	Распаковка	5
6	Оборудование расконсервировано	5 — 6	Расконсервация	10
7	Монтаж рамы окончен	2 — 7	Монтаж рамы	4
8	Роликовый конвейер изготовлен	1 — 8	Изготовление роликового конвейера	6
9	Разметка произведена	7 — 9	Разметка под установку оборудования	1
10	Монтаж станков окончен	9 — 10	Монтаж станков	12

Сетевое планирование

11	Электромонтаж окончен	10 — 11	Электромонтаж	6
12	Монтаж роликового конвейера закончен	11 — 12	Монтаж роликового конвейера	8
13	Заливка фундамента выполнена	12 — 13	Заливка фундамента роликового конвейера	1
14	Общая сборка окончена	11 — 14	Общая сборка	6
15	Узлы отлажены	14—15	Отладка узлов	20
16	Отладка произведена	15 — 16	Отладка в процессе испытания	10
17	Линия на прочность проведена	16 — 17	Проверка на прочность	4
18	Линия в эксплуатацию принята	17 — 18	Пуск и прием	1

1.4. Алгоритм правильной нумерации вершин

Нумерацию событий проверяют после построения сетевого графика, следя за тем, чтобы номер начального события каждой работы был меньше номера ее конечного события. Если нумерация событий не является правильной, то нумерацию проводят заново, применяя приведенный в следующем пункте алгоритм.

Сетевой график моделируется с помощью ориентированного графа. Ориентированный граф — это совокупность вершин, соединенных дугами. Дуга — это линия со стрелкой.

Если граф не содержит циклов, то его вершины можно пронумеровать так, чтобы для каждой дуги номер начала был меньше номера конца. Для этого можно применить следующий алгоритм:

- 1) нумеруем вершины, для которых нет входящих дуг;
- 2) зачеркиваем все дуги, исходящие из пронумерованных вершин

и переходим к пункту 1, если не все вершины пронумерованы.

Пример 1.4. Пронумеровать вершины графа, изображенного на рис. 1.9.

Сетевое планирование

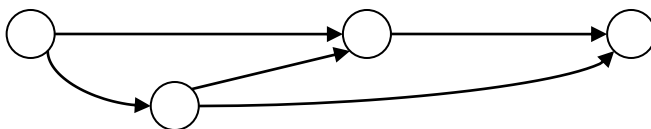


Рис. 1.9

Решение. Присвоим номер 1 вершине, у которой нет входящих дуг (рис. 1.10, а). Затем зачеркиваем дуги, выходящие из вершины 1 и в оставшихся вершинах выбираем ту, у которой нет входящих дуг (рис. 1.10, б) и присваиваем ей номер 2. Аналогично нумеруем вершину 3 (рис. 1.10, в). На рис. 1.10 показаны последовательно все шаги. Пронумерованный граф приведен на рис.1.10, г.

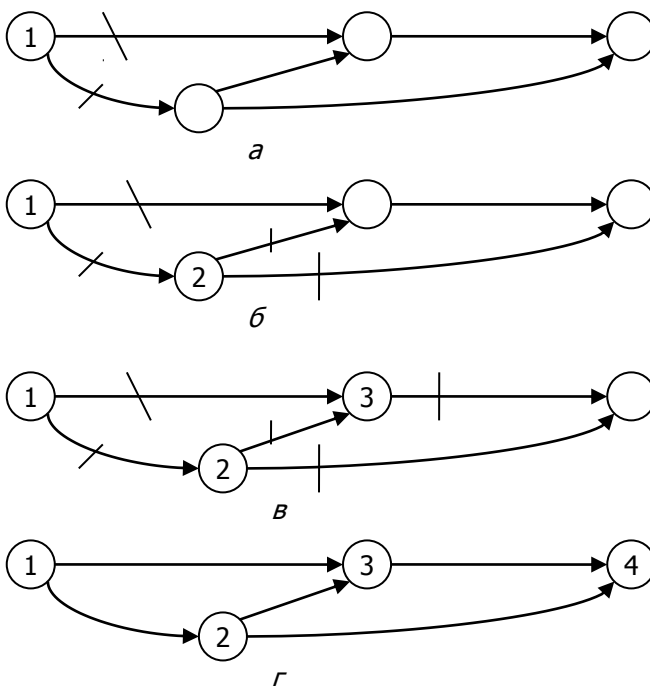


Рис. 1.10. Алгоритм правильной нумерации

1.5. Задания для самостоятельного решения

Задание 1.1. Постройте сетевой график разработки проекта и наладки производства изделия, используя упорядочение работ (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Работа	Непосредственно предшествующие работы	Время, ед. времени
<i>A</i> — подготовка конструкторского проекта	–	3
<i>B</i> — покупка собственного оборудования	<i>A</i>	6
<i>C</i> — монтаж оборудования	<i>B</i>	1
<i>D</i> — испытание оборудования	<i>C</i>	2
<i>E</i> — наладка оборудования под выпуск изделия	<i>D</i>	1

Задание 1.2. Постройте сетевой график замены станка, используя упорядочение работ (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Работа	Работы, которые должны быть выполнены раньше	Время, ед. времени
<i>A</i> — подготовка сметы затрат	–	3
<i>B</i> — покупка нового станка	<i>A</i>	1
<i>C</i> — демонтаж старого станка	<i>A</i>	3
<i>D</i> — установка нового станка	<i>C, B</i>	2
<i>E</i> — испытание станка	<i>D</i>	2
<i>F</i> — обучение и стажировка рабочих на предприятии-изготовителе	<i>B</i>	4

Сетевое планирование

Задание 1.3. Постройте сетевой график выполнения заказа на технический ремонт оборудования, используя упорядочение работ (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Работа	Работы, которые должны быть выполнены раньше	Время, ед. времени
<i>A</i> — прием заказа	–	1
<i>B</i> — осмотр оборудования и заказ комплектующих	<i>A</i>	3
<i>C</i> — покупка комплектующих	<i>B</i>	2
<i>D</i> — демонтаж негодных комплектующих	<i>B</i>	2
<i>E</i> — монтаж новых комплектующих	<i>D</i>	2
<i>F</i> — настройка и сдача оборудования в эксплуатацию	<i>E</i>	4

Задание 1.4. Построить и рассчитать графическим методом параметры сетевого графика подготовки технического проекта изделия. Ведомость расшифровки событий и работ сетевого графика подготовки технического проекта (ТП) изделия приведена в табл. 1.6.

Задание 1.5. Придумать проект работ и составить сетевой график.

Сетевое планирование

Таблица 1.6

№ событий	Содержание события	Обозначение работ	Содержание работы	Продолжительность работы, дни
0	Задание на технический проект получено			
1	Уточненный расчет закончен	0—1	Уточненный расчет элементов схемы	34
2	Составление ведомостей закончено	0—2	Составление ведомостей	9
3	Вычерчивание электрической схемы закончено	1—3	Вычерчивание электрической схемы	10
4	Разработка силового блока закончена	3—4	Разработка силового блока	8
5	Разработка чертежа общего вида закончена	4—5	Разработка чертежа общего вида	2
6	Разработка ведомостей спецификации закончена	4—6	Разработка ведомостей спецификации	14
7	Составление программы и методики испытаний закончено	5—7	Составление программы и методики испытаний	8
8	Составление технического описания закончено	7—8	Составление технического описания	2
9	Составление ведомостей ТП закончено	7—9	Составление ведомостей ТП	3

Сетевое планирование

10	ТП утвержден	9—10	Оформление и утверждение ТП	
		2—3	Фиктивная работа	
		6—7	То же	
		8—10	»	

2. РАСЧЕТ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ

2.1. Теоретические сведения

Расчет сетевого графика означает расчет следующих временных параметров:

- $T_{\text{ран}}(i)$ — раннее время наступления события i (раннее время завершения всех работ, которые предшествуют событию i);
- $T_{\text{поздн}}(i)$ — позднее время наступления события i ;
- $R(i) = T_{\text{поздн}}(i) - T_{\text{ран}}(i)$ — резерв времени события i , т.е. время, на которое может быть отсрочено наступление события i без нарушения сроков завершения проекта в целом.

Раннее время свершения события $T_{\text{ран}}(i)$ рассчитывается от начального (1) к завершающему (N) событию следующим образом:

1) для исходного события с номером 1 раннее время равно нулю:

$$T_{\text{ран}}(1) = 0; \quad (2.1)$$

2) для всех остальных событий i раннее время вычисляется по формуле:

$$T_{\text{ран}}(i) = \max[T_{\text{ран}}(k) + t(k, i)], \quad (2.2)$$

где

максимум берется по всем дугам (k, i) , входящим в вершину i ; $t(k, i)$ — время выполнения работы (k, i) .

Позднее время свершения события $T_{\text{поздн}}(i)$ рассчитывается в обратном порядке:

1) для завершающего события N позднее время сверше-

Сетевое планирование

ния совпадает с ранним временем наступления:

$$T_{\text{поздн}}(M) = T_{\text{ран}}(M); \quad (2.3)$$

2) для всех остальных событий:

$$T_{\text{поздн}}(i) = \min[T_{\text{поздн}}(j) - t(i, j)], \quad (2.4)$$

где минимум берется по всем работам (i, j) , выходящим из события i .

Ранние и поздние сроки работ определяются на основе ранних

и поздних сроков событий:

- $T_{\text{рн}}(i, j) = T_{\text{ран}}(i)$ — ранний срок начала работы;
- $T_{\text{ро}}(i, j) = T_{\text{ран}}(i) + t(i, j)$ — ранний срок окончания работы;
- $T_{\text{по}}(i, j) = T_{\text{поздн}}(j)$ — поздний срок окончания работы;
- $T_{\text{пн}}(i, j) = T_{\text{поздн}}(j) - t(i, j)$ — поздний срок начала работы;
- $R_{\text{п}}(i, j) = T_{\text{поздн}}(j) - T_{\text{ран}}(i) - t(i, j)$ — полный резерв работы показывает максимальное время, на которое можно увеличить длительность работы (i, j) или отсрочить ее начало, чтобы не нарушился срок завершения проекта в целом;
- $R_{\text{с}}(i, j) = T_{\text{ран}}(j) - T_{\text{поздн}}(i) - t(i, j)$ — свободный резерв работы показывает максимальное время, на которое можно увеличить продолжительность работы (i, j) или отсрочить ее начало, не меняя резервов времени остальных работ.

Путь — это последовательность работ в сетевом графике (в частном случае это одна работа), в которой конечное событие одной работы совпадает с начальным событием следующей за ней работы. **Критический путь** — максимальный по продолжительности путь от исходного до завершающего события. Работы, лежащие на критическом пути, называют **критическими**. Критические работы имеют нулевые свободные и полные резервы.

2.2. Методические указания к расчету сетевых графиков

Пример 2.1. Провести расчет сетевого графика, представленного на рис.2.1.

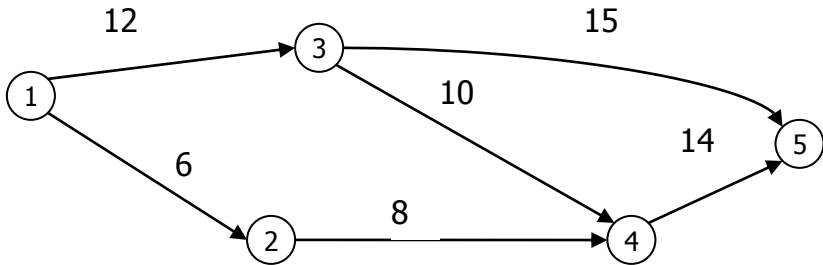


Рис. 2.1

Решение. Найдем сроки наступления событий. Расчеты проводим по формулам (2.1) – (2.4).

Ранние сроки наступления событий (формулы 2.1) – (2.2):

$$T_{\text{ран}}(1) = 0;$$

$$T_{\text{ран}}(2) = T_{\text{ран}}(1) + t(1, 2) = 0 + 6 = 6.$$

Предшествующим событию 2 на критическом пути является событие 1.

$$T_{\text{ран}}(3) = T_{\text{ран}}(1) + t(1, 3) = 0 + 12 = 12.$$

Предшествующим событию 3 на критическом пути является событие 1.

$$\begin{aligned} T_{\text{ран}}(4) &= \max[T_{\text{ран}}(k) + t(k, 4)] = \max[T_{\text{ран}}(2) + t(2, 4); T_{\text{ран}}(3) + t(3, 4)] = \\ &= \max[6 + 8; 12 + 10] = 22; \end{aligned}$$

Предшествующим событию 4 на критическом пути является событие 3.

$$\begin{aligned} T_{\text{ран}}(5) &= \max[T_{\text{ран}}(k) + t(k, 5)] = \max[T_{\text{ран}}(3) + t(3, 5); T_{\text{ран}}(4) + t(4, 5)] = \\ &= \max[12 + 15; 22 + 14] = 36; \end{aligned}$$

Сетевое планирование

Предшествующим событию 5 на критическом пути является событие 4.

Результаты расчетов заносим в табл. 2.1. По номерам предшествующих событий находим критический путь: 1–3–4–5. Критическое время

$$T_{\text{крит}} = T_{\text{ран}}(5) = 36 \text{ ед.}$$

Найдем поздние сроки наступления событий, применяя формулы (2.3) – (2.4) (параметр i изменяется в обратном порядке):

$$T_{\text{поздн}}(5) = T_{\text{ран}}(5) = 36;$$

$$T_{\text{поздн}}(4) = T_{\text{поздн}}(5) - t(4, 5) = 36 - 14 = 22;$$

$$T_{\text{поздн}}(3) = \min[T_{\text{поздн}}(4) - t(3, 4); T_{\text{поздн}}(5) - t(3, 5)] = \\ = \min[22 - 10; 36 - 15] = 12;$$

$$T_{\text{поздн}}(2) = T_{\text{поздн}}(4) - t(2, 4) = 22 - 8 = 14;$$

$$T_{\text{поздн}}(1) = \min[T_{\text{поздн}}(2) - t(1, 2); T_{\text{поздн}}(3) - t(1, 3)] = \\ = \min[14 - 6; 12 - 12] = 0;$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Собы- тие i	Ранний срок наступле- ния собы- тия, $T_{\text{ран}}(i)$	Предшествую- щее событие на критическом пути	Поздний срок наступле- ния собы- тия $T_{\text{поздн}}(i)$	Резерв времени события $R(i) =$ $=$ $T_{\text{поздн}}(i)$ $- T_{\text{ран}}(i)$
1	0	–	0	$0 - 0 =$ 0
2	6	1	14	$14 - 6 =$ 8
3	12	1	12	$12 - 12$ $= 0$
4	22	3	22	$22 - 22$ $= 0$
5	36	4	36	$36 - 36$ $= 0$

Вычислим временные параметры работ. Расчетные формулы и результаты вычислений приведены в табл. 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2

Работа, (i, j)	Время работы, $t(i, j)$	Ранний срок начала $T_{рн}(i, j)$ = = $T_{ран}(j)$	Поздний срок окончания $T_{по}(i, j) =$ $= T_{поздн}(j)$	Ранний срок окончания $T_{ро}(i, j) =$ $= T_{ран}(i) +$ $t(i, j)$	Поздний срок начала $T_{пн}(i, j) =$ $= T_{поздн}(j) -$ $t(i, j)$
(1, 2)	6	0	14	6	8
(1, 3)	12	0	12	12	0
(2, 4)	8	6	22	14	14
(3, 4)	10	12	22	22	12
(3, 5)	15	12	36	27	21
(4, 5)	14	22	36	36	22

Таблица 2.3

Работа (i, j)	Время работы $t(i, j)$	Полный резерв ра- боты $R_n(i, j) = T_{поздн}(j) -$ $T_{ран}(i) - t(i, j)$	Свободный резерв работы $R_c(i, j) = T_{ро}(i) -$ $T_{поздн}(j) - t(i, j)$
(1, 2)	6	$14 - 0 - 6 = 8$	$6 - 0 - 6 = 0$
(1, 3)	12	$12 - 0 - 12 = 0$	$12 - 0 - 12 = 0$
(2, 4)	8	$22 - 6 - 8 = 8$	$22 - 14 - 8 = 0$
(3, 4)	10	$22 - 12 - 10 = 0$	$22 - 12 - 10 = 0$
(3, 5)	15	$36 - 12 - 15 = 9$	$36 - 12 - 15 = 9$
(4, 5)	14	$36 - 22 - 14 = 0$	$36 - 22 - 14 = 0$

Выводы:

Критический путь: 1–3–4–5. Критическое время 36, т.е. на выполнение проекта потребуется не менее 36 ед. времени.

Лишь событие 2 имеет ненулевой резерв времени в 8 единиц. Остальные события имеют нулевые резервы времени, так как они входят в критический путь.

Критические работы (принадлежащие критическому пути): (1, 3), (3, 4), (4, 5). Полные и свободные резервы времени на критические работы равны нулю.

Сетевое планирование

Некритические работы: (1, 2), (2, 4) и (3, 5). Их полные резервы соответственно составляют $R_n(1, 2) = 8$, $R_n(2, 4) = 8$ и $R_n(3, 5) = 9$ ед. времени. Однако это не означает, что все эти работы можно задержать на указанные промежутки времени. Например, если работу (1, 2) выполнить с задержкой в 8 ед. времени, то работу (2, 4) уже нельзя будет задерживать!

Свободные резервы работ: $R_c(3, 5) = 9$ ед. Можно увеличить продолжительность работы (3, 5) или отсрочить её начало, при этом резервы времени остальных работ не изменятся.

2.3. Варианты заданий для самостоятельной работы

Задание 2.1. Провести анализ сетевых графиков, построенных при выполнении заданий 1.1—1.4.

Задание 2.2. Провести анализ сетевого графика, заданного списком работ, событий и временами выполнения работ $t(i, j)$ из таблицы 2.4.

Таблица 2.4

Вариант 1						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	5	14	10	4	6	11
Вариант 2						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	6	13	11	8	9	10
Вариант 3						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	7	12	12	9	12	9
Вариант 4						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	8	11	13	9	6	13
Вариант 5						

Сетевое планирование

Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(3, 4)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	9	10	14	8	4	10
Вариант 6						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 5)	(3, 5)	(1, 5)
Время $t(i, j)$	10	9	15	8	11	12

Вариант 7						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 5)	(3, 5)	(1, 5)
Время $t(i, j)$	11	8	12	8	6	5

Вариант 8						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(1, 4)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	12	7	10	5	6	3

Вариант 9						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 5)	(3, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	13	6	8	5	8	11

Вариант 10						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 5)	(3, 4)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	14	5	6	9	7	10

Вариант 11						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	15	14	10	4	6	11

Вариант 12						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)

Сетевое планирование

Время $t(i, j)$	16	13	11	8	9	10
Вариант 13						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	17	12	12	9	12	9
Вариант 14						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	18	11	13	9	6	13
Вариант 15						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(3, 4)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	19	10	14	8	4	10
Вариант 16						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 5)	(3, 5)	(1, 5)
Время $t(i, j)$	10	19	15	8	11	12

Вариант 17						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 5)	(3, 5)	(1, 5)
Время $t(i, j)$	11	18	12	8	6	5
Вариант 18						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(1, 4)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	12	17	10	5	6	3
Вариант 19						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 5)	(3, 4)	(3, 5)	(4, 5)

Сетевое планирование

Время $t(i, j)$	13	6	8	5	8	11
Вариант 20						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 5)	(3, 4)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	14	15	6	9	7	10
Вариант 21						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	5	14	10	14	6	11
Вариант 22						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	6	13	11	18	9	10
Вариант 23						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	7	12	12	19	12	9
Вариант 24						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	8	11	13	19	6	13
Вариант 25						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(3, 4)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	9	10	14	18	4	10
Вариант 26						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 5)	(3, 5)	(1, 5)
Время $t(i, j)$	10	9	15	18	11	12
Вариант 27						

Сетевое планирование

Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 5)	(3, 5)	(1, 5)
Время $t(i, j)$	11	8	12	18	6	5

Вариант 28						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(1, 4)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	12	7	10	15	6	3

Вариант 29						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 5)	(3, 4)	(3, 5)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	13	6	8	15	8	11

Вариант 30						
Работа (i, j)	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(2, 5)	(3, 4)	(4, 5)
Время $t(i, j)$	14	5	6	19	7	10

ЛИТЕРАТУРА

1. Писарук, Н.Н. Исследование операций/Н.Н. Писарук.— Минск: БГУ, 2012.— 281с.
2. *Кремер Н.Ш.* Исследование операций в экономике: Учеб. пособие для вузов /Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко, И.М. Тришин, М.Н. Фридман; Под ред. проф. Н.Ш. Кремера. — М., 2005. — 407 с.
3. *Дегтярев Ю.И.* Исследование операций. — М.: Высш. шк., 1986. — 320 с.
4. *Жак С.В.* Математические модели менеджмента и маркетинга. Ростов н/Д: ЛаПО, 1997. — 320 с.
5. *Таха Х.А.* Исследование операций. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2016.—912 с.