

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра экономического анализа и управления недвижимостью

ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Методические указания для проведения практических занятий со студентами
специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство»

Часть II

Сетевое моделирование в строительстве

Нижний Новгород – 2008

УДК 69.05:658.5.012.2

Организация строительного производства [текст]: метод. указания для проведения практических занятий со студентами специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство». Ч. II. Сетевое моделирование в строительстве / Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т.; сост. В.Н. Фомин, Д.В. Хавин, С.В. Горбунов, В.В. Ноздрин. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2008. – 25 с.

Составители: В.Н. Фомин, Д.В. Хавин, С.В. Горбунов, В.В. Ноздрин

В методических указаниях рассмотрены вопросы составления, расчета и оптимизации сетевых графиков с целью использования в организации и планировании строительства.

Указания предназначены студентам специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство» для проведения практических занятий по дисциплине «Организация строительства».

СОДЕРЖАНИЕ

ЗАДАНИЕ № 1. Составление сетевой модели.....	4
1.1. Исходные данные	4
1.2. Основные элементы сетевой модели.....	4
1.3. Основные правила построения сетевой модели.....	5
1.4. Построение сетевой модели	7
ЗАДАНИЕ № 2. Расчёт сетевых графиков	9
2.1. Расчётные параметры сетевых графиков и расчётные формулы.....	9
2.2. Расчёт в табличной форме.....	11
2.3. Расчёт на графике.....	13
2.4. Расчёт с определением потенциалов событий.....	15
2.5. Построение сетевого графика в масштабе времени	18
2.6. Оптимизация сетевых графиков по времени.....	19
2.7. Оптимизация сетевых графиков по равномерному потреблению трудовых ресурсов.....	21
2.8. Оптимизация сетевых графиков по потреблению материалов	22
ЛИТЕРАТУРА	24
ПРИЛОЖЕНИЕ А	25

ЗАДАНИЕ № 1

Составление сетевой модели

Сетевая модель представляет собой графическое изображение технологической последовательности выполнения строительно-монтажных работ и их взаимозависимостей при возведении отдельных зданий, сооружений и комплексов.

1.1. Исходные данные

Исходными данными для составления сетевой модели при строительстве отдельного объекта являются:

- календарный план строительства или комплексный укрупнённый сетевой график в составе проекта организации строительства;
- сметная документация;
- технологические карты на строительные и специальные строительные работы;
- нормативный или договорный срок строительства;
- данные о строительной организации, которая будет осуществлять строительство (численность и состав рабочих кадров по профессиям, количество и номенклатура машин и механизмов, состояние материально-технической базы и т.д.);
- карточка-определитель работ сетевого графика.

На практических занятиях составление сетевой модели осуществляется на основе данных, приведённых в приложении А.

1.2. Основные элементы сетевой модели

Событие – результат выполнения (факт окончания) одной или нескольких работ, необходимый и достаточный для начала последующих работ. Изображается кружком и нумеруется (i)

Событие, не имеющее предшествующих работ, называется начальным, а не имеющее последующих работ, – конечным.

Работа – процесс, требующий для его выполнения затрат времени и ресурсов. Изображается сплошной стрелкой с указанием над ней продолжительности работ и под стрелкой её наименования.



Рисунок 1 - Обозначение на сетевой модели элемента «работа»

Ожидание – технологический или организационный перерыв между работами, необходимый при выбранной схеме производства работ;

процесс, требующий только затрат времени. Изображается аналогично работе.



Рисунок 2 - Обозначение на сетевой модели элемента «ожидание»

Зависимость (фиктивная работа) – элемент, который вводится для отражения взаимосвязи между работами, не требует затрат времени и ресурсов. Изображается пунктирной стрелкой.



Рисунок 3 - Обозначение на сетевой модели элемента «зависимость»

Работа, ожидание, а также зависимость шифруются номерами двух ограничивающих событий: начального и конечного.

Критическим называется путь наибольшей продолжительности между начальным и конечным событиями графика.

1.3. Основные правила построения сетевой модели

1.3.1. В сетевой модели не должно быть повторяющихся номеров событий и шифров работ.

1.3.2. При наличии параллельных работ, имеющих общие начальное и конечное события, для их правильного изображения вводятся дополнительные события и зависимости.

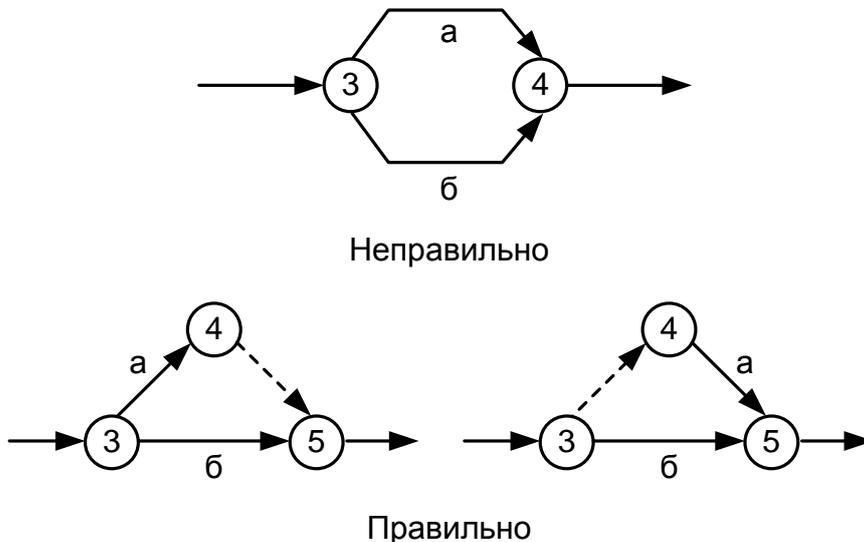


Рисунок 4 - Примеры изображения параллельно выполняемых работ

1.3.3. Если работа «б» может быть начата до полного окончания технологически предшествующей ей работы «а», нужно из общего объёма работы «а» выделить часть «а₁», выполнение которой действительно необходимо для начала работы «б», и изобразить её на графике в виде отдельной работы, предшествующей работе «б».

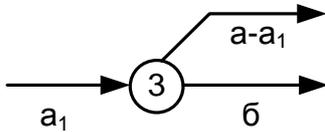


Рисунок 5 - Пример выделения части работы

1.3.4. В сетевом графике не допускаются замкнутые контуры работ.

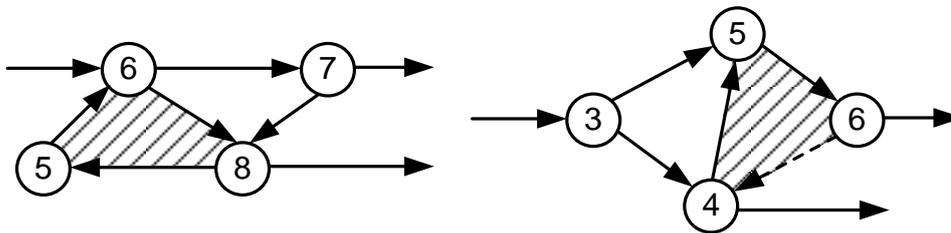


Рисунок 6 - Примеры замкнутых контуров

Наличие замкнутых контуров свидетельствует об ошибке в построении модели либо в составлении исходных данных.

1.3.5. В сетевом графике не должно быть «тупиков» и «хвостов».

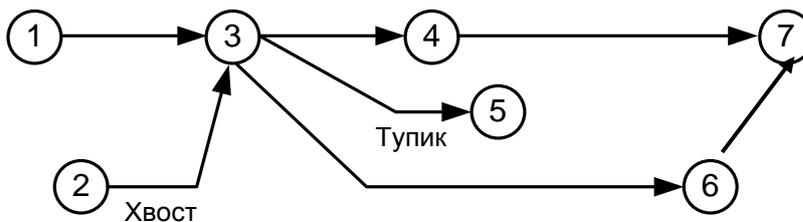


Рисунок 7 - Пример сетевой модели с «тупиком» и «хвостом»

1.3.6. Зависимости (фиктивные работы) используются в сетевых моделях для отражения взаимосвязей между работами в следующих случаях (смотри рис. 8).

1.3.6.1. После окончания работ «а» и «б» можно начать работу «в», а начало работы «г» зависит только от окончания работы «б».

1.3.6.2. После окончания работ «а» и «б» можно начать работу «в», а начало работы «г» зависит только от окончания работы «а» и начало работы «д» – от окончания работы «б».

1.3.7. При организации поточного выполнения работ с разбивкой общего фронта на отдельные участки или захватки стремление к построению сети с выделением в первую очередь последовательности

однородных работ, выполняемых на разных участках, может привести к возникновению в сетевой модели нереальных зависимостей между работами (смотри рис. 9).

1.3.8. При большом количестве работ может возникнуть необходимость укрупнения графика. При укрупнении группа работ в сетевом графике изображается как одна работа. Продолжительность новой работы равна величине наибольшей продолжительности между начальным и конечным событиями группы работ до укрупнения.

1.3.9. Укрупнение сетевого графика не должно идти в ущерб возможностям контроля за выполнением работ. Укрупнение участков графика, состоящих из работ, выполняемых различными исполнителями, нецелесообразно.

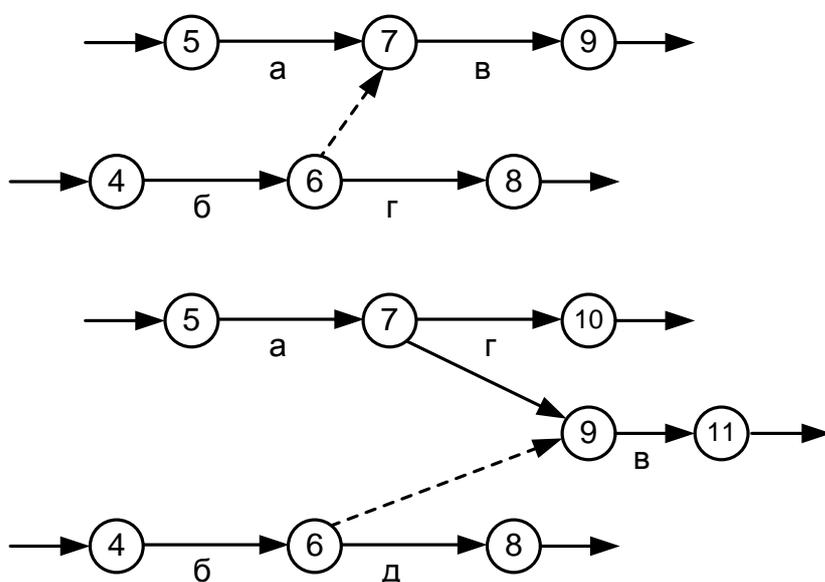


Рисунок 8 - Примеры использования зависимостей

1.4. Построение сетевой модели

Рассмотрим пример построения сетевой модели для объекта* с исходными данными, приведенными в табл. 1.

Т а б л и ц а 1 – Исходные данные для построения сетевой модели

Наименование работ	Условные обозначения	Продолжительность работ, дн.		
		1 участок	2 участок	3 участок
1	2	3	4	5
1. Разработка грунта	Р. гр.	7	6	3
2. Устройство фундаментов	Уст. ф.	4	3	5
3. Монтаж каркаса	М. к.	8	3	2

*Примечание. Объект одноэтажный, трехпролетный, промышленного назначения.

На рисунке 9 потоки однородных работ выделены чётко, однако критический путь (1-2, 2-3, 3-4, 4-6, 6-7, 7-8), равный 26 дням, является ложным, так как технологически работа 4-6 (монтаж конструкций на первом участке) не зависит от окончания работы 2-3 (разработка грунта на втором участке).

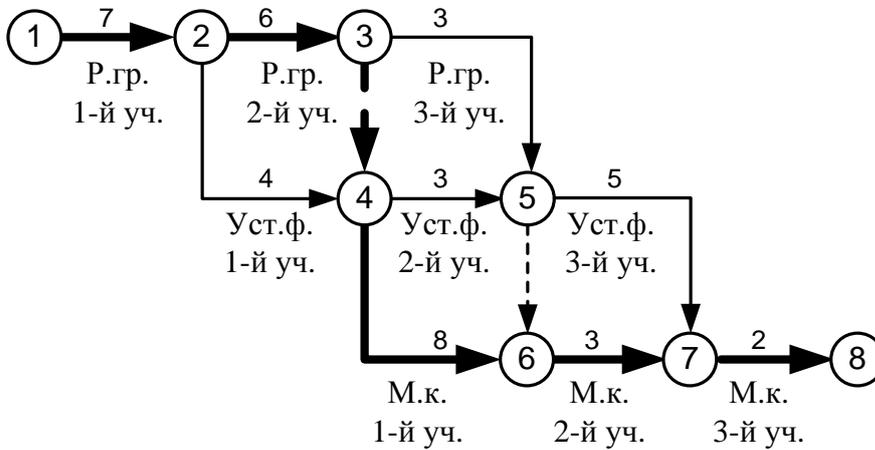


Рисунок 9 - График с нереальными зависимостями между работами:
Р. гр. – разработка грунта; Уст.ф. – устройство фундаментов; М.к. – монтаж конструкций

На рисунке 10 представлен правильно построенный сетевой график.

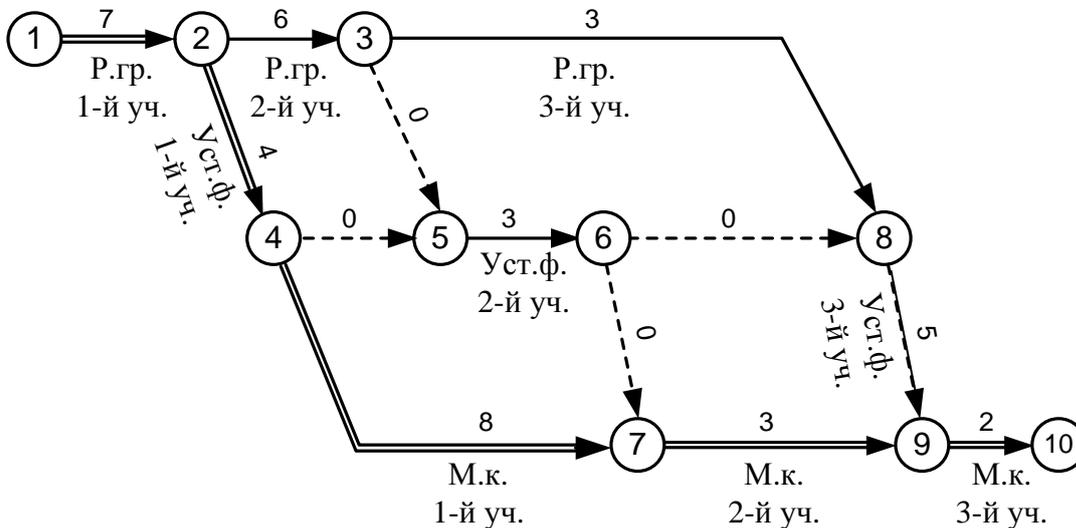


Рисунок 10 - График с реальными зависимостями между работами

Критический путь (1-2, 2-4, 4-7, 7-9, 9-10) равен 24 дням.

ЗАДАНИЕ № 2

Расчёт сетевых графиков

2.1. Расчётные параметры сетевых графиков и расчётные формулы

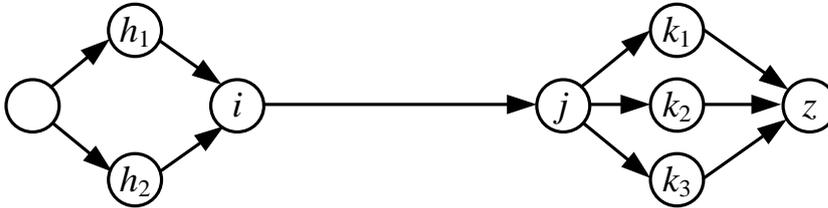


Рисунок 11 - Схема сетевого графика

$i-j$ – рассматриваемая работа;

h_1-i , h_2-i – предшествующие работы;

$j-k_1$, $j-k_2$, $j-k_3$ – последующие работы;

k_1-z , k_2-z , k_3-z – завершающие работы;

t_{i-j} – продолжительность работы;

$t_{кр}$ – продолжительность критического пути;

T_{i-j}^{PH} – раннее начало работы;

T_{i-j}^{PO} – раннее окончание работы;

$T_{i-j}^{ПН}$ – позднее начало работы;

$T_{i-j}^{ПО}$ – позднее окончание работы;

R_{i-j} – общий резерв времени работы;

r_{i-j} – частный резерв времени работы.

Раннее начало работы, самый ранний из возможных сроков начала работы, который определяется продолжительностью максимального пути от исходного события графика до начала данной работы. Работы, выходящие из одного события, имеют одинаковые ранние начала. Ранние начала работ, выходящих из начального события, равны нулю. Раннее начало любой работы равно наибольшему из ранних окончаний предшествующих работ.

$$T_{i-j}^{PH} = \max T_{h-i}^{PO} \quad (1)$$

Раннее окончание работы – это самый ранний из возможных сроков окончания работы, оно равно сумме раннего начала работы и её продолжительности

$$T_{i-j}^{PO} = T_{i-j}^{PH} + t_{i-j} \quad (2)$$

Максимальная величина из ранних окончаний работ, входящих в завершающее событие графика, определяет продолжительность критического пути и срок строительства

$$t_{kp} = \max T_{k-z}^{PO}, \quad (3)$$

где $k-z$ – завершающая работа.

Позднее начало работы – самый поздний допустимый срок начала работы, при котором срок достижения конечной цели не меняется.

Позднее окончание работы – самый поздний допустимый срок окончания работы, не изменяющий конечной цели.

Позднее окончание определяется разностью между продолжительностью максимального пути от последующего события данной работы до завершающего события графика или равно наименьшему из поздних начал последующих работ

$$T_{i-j}^{PO} = \min T_{j-k}^{PH} = \min(T_{j-k}^{PO} - t_{j-k}). \quad (4)$$

Позднее начало данной работы равно разности между величинами её позднего окончания и продолжительности

$$T_{i-j}^{PH} = T_{i-j}^{PO} - t_{i-j}. \quad (5)$$

Для завершающих работ позднее окончание равно

$$T_{k-z}^{PO} = t_{kp} = \max T_{k-z}^{PO}. \quad (6)$$

Общий резерв времени работы – это максимальное количество времени, на которое можно отдалить окончание данной работы за счёт увеличения продолжительности или задержки её начала, не изменяя срока достижения конечной цели.

Численно общий резерв времени работы определяется как разность между одноимёнными поздними и ранними параметрами этой работы

$$R_{i-j} = T_{i-j}^{PO} - T_{i-j}^{PH} \quad (7)$$

или

$$R_{i-j} = T_{i-j}^{PH} - T_{i-j}^{PH}. \quad (8)$$

Частный резерв времени работы – это количество времени, на которое можно перенести начало работы или увеличить её продолжительность без изменения раннего начала последующих работ.

Численно частный резерв времени работы определяется как разность между ранним началом последующих работ и ранним окончанием данной работы.

$$r_{i-j} = T_{j-k}^{PH} - T_{i-j}^{PO}. \quad (9)$$

Расчёт модели сетевого графика сводится к определению расчётных параметров и критического пути.

Существуют ручные методы расчёта и на ЭВМ.

Из ручных методов расчёта наиболее распространены: табличный; непосредственно на графике; по потенциалам событий.

2.2. Расчёт в табличной форме

Рассмотрим методику расчёта сетевого графика, приведённом на рисунке 10.

Табличный способ является универсальным и характеризуется большой наглядностью. Для расчёта сетевого графика в табличной форме события должны быть пронумерованы таким образом, чтобы номер начального события был меньше номера конечного события работы.

На первом этапе на основании составленной сетевой модели заполняются первые три графы (см. таблицу 2): номера начальных событий предшествующих работ (графа 1); шифр данной работы (графа 2); продолжительность работы (графа 3). Заполнение следует начинать со второй графы, придерживаясь правила: сначала записываются все работы, выходящие из первого события, затем из второго и далее в порядке нарастания номеров. Одновременно с записью работ, выходящих из одного события, заполняются первая и третья графы таблицы.

На втором этапе рассчитываются ранние сроки начала и окончания работ (графы 4 и 5). Заполнение их ведётся построочно, начиная с исходного события до завершающего.

Ранние начала исходных работ всегда равны нулю, затем определяются ранние окончания этих работ по формуле (2). Так, раннее окончание работы 1-2 будет: $T_{1-2}^{PO} = T_{1-2}^{PH} + t_{1-2} = 0 + 7 = 7$ дн.

Дальнейшее заполнение граф 4 и 5 осуществляется последовательно сверху вниз, при этом раннее начало последующих работ определяется по формуле (1). Например, раннее начало работы 2-3 равно 7, а для работы 5-6 раннее начало равно 13 – максимальному из ранних окончаний предшествующих работ 3-5 и 4-5.

Раннее начало завершающего события равно продолжительности критического пути, которая в рассматриваемом примере равна 24 дням.

На третьем этапе производится расчёт поздних начал и окончаний работ (заполняются соответственно графы 6 и 7). Расчёт ведётся от завершающего события к исходному (снизу вверх).

Позднее окончание завершающих работ равно продолжительности критического пути (для работы 9-10 – 24 дня). Поздние начала работ определяются по формуле (5). Так, для работы 9-10 $T_{9-10}^{PH} = 24 - 2 = 22$ дн., для работы 8-9 $T_{8-9}^{PH} = 22 - 5 = 17$ дн.

Т а б л и ц а 2 – Расчёт графика в табличной форме

Номера начальных событий	i-j	t _{i-j}	T_{i-j}^{PH}	T_{i-j}^{PO}	$T_{i-j}^{ПН}$	$T_{i-j}^{ПО}$	R_{i-j}	r_{i-j}	Календарные даты начала работ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-	1-2	7	0	7	0	7	0	0	20.11
1	2-3	6	7	13	8	14	1	0	29.11
1	2-4	4	7	11	7	11	0	0	29.11
2	3-5	0	13	13	14	14	1	0	07.12
2	3-8	3	13	16	14	17	1	0	07.12
2	4-5	0	11	11	14	14	3	2	05.12
2	4-7	8	11	19	11	19	0	0	05.12
3, 4	5-6	3	13	16	14	17	1	0	07.12
5	6-7	0	16	16	19	19	3	3	13.12
5	6-8	0	16	16	17	17	1	0	13.12
4, 6	7-9	3	19	22	19	22	0	0	18.12
3, 6	8-9	5	16	21	17	22	1	1	13.12
7, 8	9-10	2	22	24	22	24	0	0	21.12
	Соб. 10		24						

Позднее окончание предшествующих работ определяются по формуле (4). Например, для работы 5-6 позднее окончание равно минимальному из поздних начал работ 6-7 и 6-8, т. е 17 дням.

На четвертом этапе рассчитываются общие (полные) и частные (свободные) резервы времени соответственно по формулам (7) или (8) и (9). Так, для работы 1-2 $R_{1-2} = T_{1-2}^{ПО} - T_{1-2}^{PO} = T_{1-2}^{ПН} - T_{1-2}^{PH} = 7 - 7 = 0 - 0 = 0$;

$$r_{1-2} = T_{2-3}^{PH} - T_{1-2}^{PO} = 7 - 7 = 0.$$

На пятом этапе по расчётным параметрам определяют работы, лежащие на критическом пути. У этих работ ранние и поздние характеристики равны между собой, а общий и частный резервы равны нулю.

Затем осуществляется проверка правильности расчёта сетевого графика:

- критический путь должен быть непрерывным от исходного события до завершающего. В нашем случае он проходит через работы 1-2, 2-4, 4-7, 7-9, 9-10;

- разность между ранним и поздним началами работы должна быть равна разности между ранним и поздним окончаниями работы;

- частный резерв должен быть меньше или равен общему резерву времени работы.

Шестой этап – определение календарных дат ранних начал работ. Существуют разные приёмы для их установления. В частности, сделать это можно с помощью составленной на общий срок выполнения работ таблицы 3. Если дата начала строительства 20 ноября 2000 года, то привязка графика, расчёт которого выполнен в таблице 2, будет иметь следующий вид.

Т а б л и ц а 3 – Привязка графика к календарным датам

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	20.11	21.11	22.11	23.11	24.11	27.11	28.11	29.11	30.11	01.12
1	04.12	05.12	06.12	07.12	08.12	11.12	13.12	14.12	15.12	18.12
2	19.12	20.12	21.12							

Зная значение раннего начала работы, можно легко определить календарную дату. Например, для работы 3-5, имеющей $T_{3-5}^{PH} = 13$ дн., находим календарную дату её начала на пересечении строки «1» и колонки «3» - 7 декабря 2000 г.

2.3. Расчёт на графике

При расчёте непосредственно на графике его вычерчивают с увеличенными размерами событий, каждое из которых делится на четыре сектора (см. рисунок 12).



Рисунок 12 - Содержание секторов событий при расчёте на графике

Расчёт ведётся в несколько этапов. Рассмотрим пример, приведённый на рисунке 10.

Предварительно на модели (см. рисунок 13) в верхнем секторе проставляют номера событий, а над стрелкой – продолжительности работ.

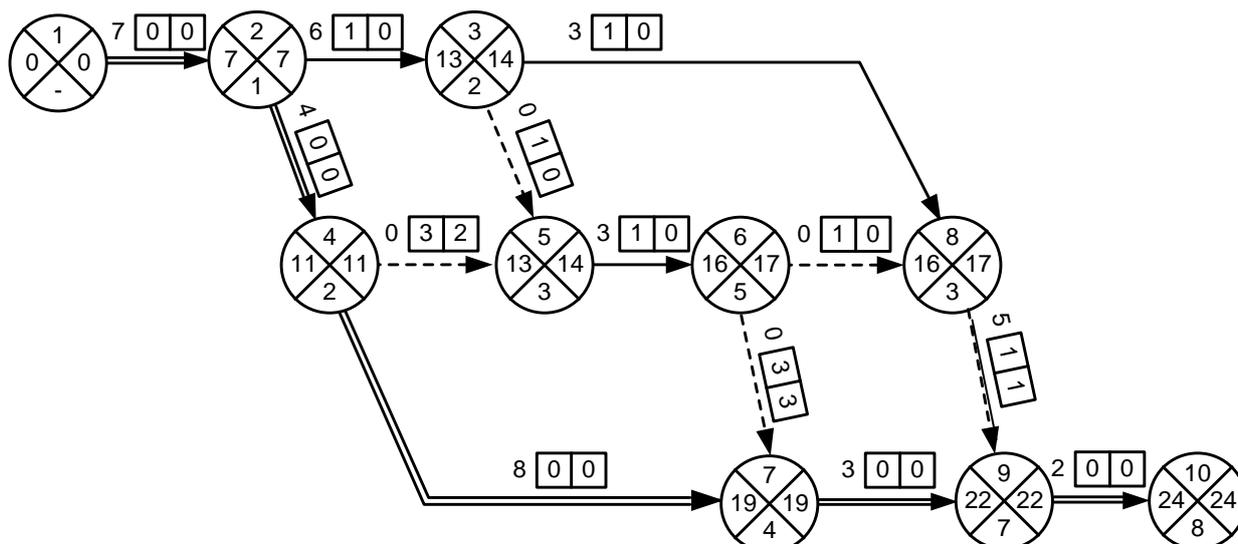


Рисунок 13 - Расчёт на графике

Первый этап – определяют ранние начала работ. При определении ранних начал работ расчёт ведётся слева направо от исходного события к завершающему. За величину раннего начала принимается наибольшая продолжительность из всех путей, ведущих к данному событию.

Раннее начало работ, выходящих из события «1», равно нулю; затем определяем ранний срок начала работ 2-3 и 2-4. $T_{2-3}^{PH} = T_{2-4}^{PH} = 0 + 7 = 7$ дн. Раннее начало записывается в левый сектор события «2». Одновременно в нижний сектор записывают номер начального события предшествующей работы, по которой проходит путь максимальной продолжительности к рассматриваемой работе, в данном случае это событие «1».

Аналогичным образом заполняются левый и нижний сектора всех событий, включая завершающее (событие «10»), левый сектор которого определит продолжительность критического пути: $t_{кр} = 24$ дня.

Второй этап – определение позднего окончания работ. Расчёт ведётся справа налево от завершающего к начальному событию графика; при этом заполняются правые сектора.

Для завершающего события «10» значение левого сектора переносят в правый, так как в последнее событие входит критическая работа, а это значит, что позднее начало равно раннему окончанию, а последнее равно раннему началу последующей работы, значение которого записано в левом секторе.

Позднее окончание любой работы сетевого графика равно наименьшей разности поздних окончаний последующих работ и их продолжительности. Так, поздний срок окончания работы 7-9 равен $T_{7-9}^{ПО} = 24 - 2 = 22$ дн. Для работы 5-6 позднее окончание равно наименьшей разности из двух вариантов: $T_{5-6}^{ПО} = 17 - 0 = 17$ дн., $T_{5-6}^{ПО} = 19 - 0 = 19$ дн. В правый сектор записываем «17». Аналогичным образом определяются поздние окончания

остальных работ сетевого графика. Если вычисления выполнены правильно, то в правом секторе исходного события получится ноль.

На третьем этапе определяем резервы времени по ранее приведённым формулам (7) и (9). Для определения общего резерва времени (R_{i-j}) необходимо из значения правого сектора последующего события работы вычесть значение левого сектора ее начального события и продолжительность работы:

$$R_{i-j} = T_{i-j}^{ПО} - (T_{i-j}^{PH} + t_{i-j}) = T_{i-j}^{ПО} - T_{i-j}^{PO}.$$

Для определения частного резерва времени (r_{i-j}) из значения левого сектора последующего события работы вычитают значение левого сектора ее начального события и продолжительность работы:

$$r_{i-j} = T_{j-k}^{PH} - (T_{i-j}^{PH} + t_{i-j}) = T_{j-k}^{PH} - T_{i-j}^{PO}.$$

Так, для работы 9-10 резервы времени будут следующие:
 $R_{9-10} = 24 - (22 + 2) = 0$; $r_{9-10} = 24 - (22 + 2) = 0$.

На четвёртом этапе определяется критический путь, проходящий через события, у которых правые и левые сектора равны между собой, а резервы времени равны нулю.

2.4. Расчёт с определением потенциалов событий

Потенциал события t_i^n представляет собой величину наиболее продолжительного пути от данного события до завершающего, т. е. оставшуюся часть времени от данного события до окончания строительства.

Расчёт производится непосредственно на графике одним из следующих методов.

2.4.1. По СН 391-68

При расчете с определением потенциалов событий согласно СН 391-68 над событием, в котором проставлен его порядковый номер, ставят крестообразный знак, в который заносятся расчётные параметры (рисунок 14).

Основные положения при расчёте следующие:

- потенциал завершающего события равен нулю;
- потенциал любого события равен максимальному значению суммы потенциала последующего события и продолжительностей работ, выходящих из рассматриваемого события:

$$t_i^n = \max(t_i^n + t_{i-j}); \quad (10)$$

- потенциал исходного события равен продолжительности критического пути.

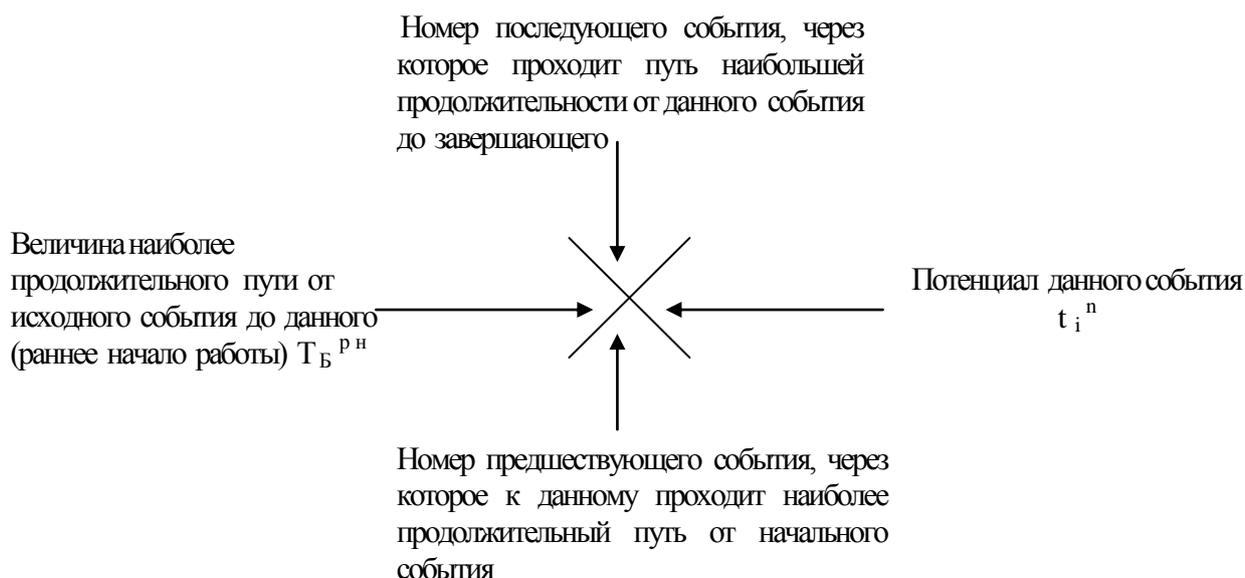


Рисунок 14 - Содержание записей над событием при расчёте с определением потенциалов событий по СН 391-68

Заполнение левого и нижнего секторов производится аналогично расчёту на графике – определяются ранние начала всех работ и продолжительность критического пути.

На следующем этапе обратным ходом от завершающего события к исходному рассчитываются потенциалы событий и заполняются правый и верхний сектора.

Резервы времени определяются по формулам:

$$R_{i-j} = t_{kp} - (t_j^{\Pi} + t_{i-j} + T_{i-j}^{PH}), \quad (11)$$

$$r_{i-j} = T_{j-k}^{PH} - T_{i-j}^{PO} = T_{j-k}^{PH} - (T_{i-j}^{PH} + t_{i-j}). \quad (12)$$

Резервы времени записываются также как и при расчёте на графике – над работой.

Пример расчёта на графике с определением потенциалов событий приведён на рисунке 15.

2.4.2. Метод, применяемый в строительной практике

При расчёте методом потенциалов, применяемым в строительной практике, график вычерчивают с увеличенными размерами событий, каждое из которых делится на четыре сектора (см. рисунок 16).

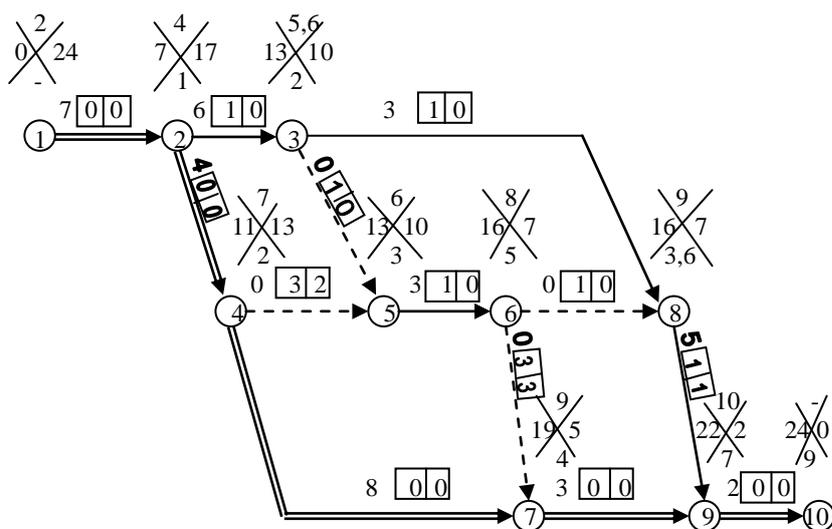


Рисунок 15 - Расчет с определением потенциалов событий по СП 391-68



Рисунок 16 - Содержание секторов событий при расчёте методом потенциалов, применяемым в строительной практике

На первом этапе (см. рисунок 17) заполняют верхний и левый сектора события согласно правилам изложенным в графическом методе расчёта.

Затем заполняют правый и нижний сектора работ, определяя потенциалы событий по формуле (10). Резервы времени определяют по формулам (7) и (9) аналогично расчету на графике.

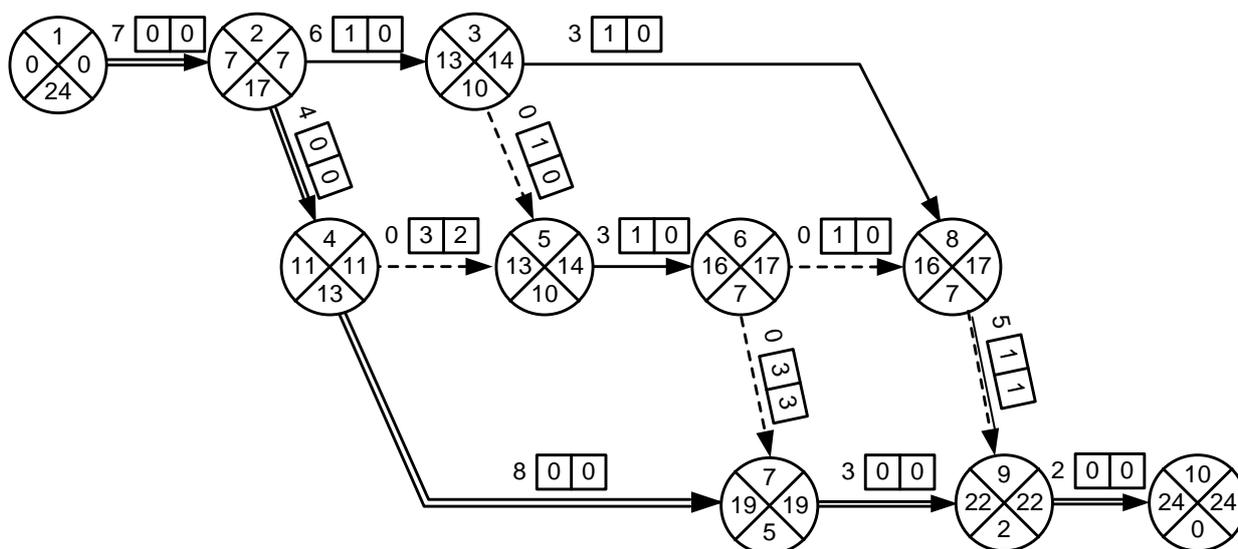


Рисунок 17 – Расчет методом потенциалов, применяемым в строительной практике

2.5. Построение сетевого графика в масштабе времени

Обычно для расчёта параметров строится немасштабный сетевой график, который после расчёта может быть привязан к календарным датам путём проставления их у каждого события графика.

График, построенный в масштабе времени, более удобен для контроля за ходом выполнения работ. Построение сетевого графика в масштабе времени производят по ранним началам или поздним окончаниям работ. Построение масштабного сетевого графика (см. рисунок 18) выполняется в следующей последовательности:

Снизу или сверху будущего графика вычерчивается календарная линейка, на которой указываются порядковые рабочие дни с привязкой их к календарным датам соответствующего месяца и года; все работы изображаются в масштабе времени, при этом начальное событие должно располагаться в соответствии со значением раннего начала работы, а величина проекции работы на ось времени принимается равной сумме её продолжительности и частного резерва времени.

Сначала изображаются работы, лежащие на критическом пути, продолжительность которых определяет срок строительства.

Затем по порядку наносят остальные работы с частными резервами времени. Продолжительность работ изображают сплошной, а частный резерв времени работы – пунктирной линией. Например, работа 8-9 (рисунок 18) продолжительностью 5 дней и частным резервом времени, равным одному дню, наносится от центра события 8 до центра события 9. Продолжительность работы 8-9, равная 5 дням, изображается сплошной линией, а частный резерв (1 день) – пунктирной. Продолжительность работ и частных резервов времени указывают цифрами над работами, а под работами – их наименования.

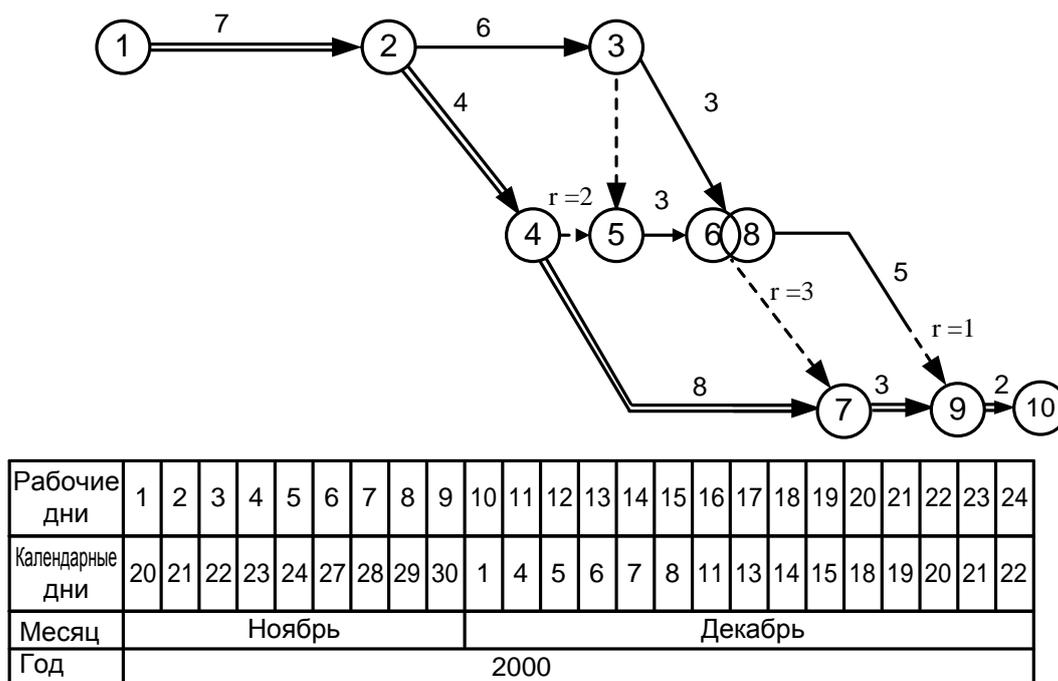


Рисунок 18 - Сетевой график, построенный в масштабе времени

По сетевому графику, построенному в масштабе времени, легко построить графики потребности рабочих в смену или день, для чего на сетевом графике рядом с продолжительностью работ указывается цифрами количество рабочих, выполняющих данный процесс. График потребности рабочих строится в произвольном масштабе в виде диаграммы.

2.6. Оптимизация сетевых графиков по времени

Расчитанный сетевой график не всегда соответствует заданному сроку, поэтому необходимо проводить корректирование графика с учётом существующих ограничений. Процесс корректирования сетевых графиков с целью выполнения поставленных ограничений называется оптимизацией.

Существует несколько видов оптимизации: по времени и по равномерному потреблению ресурсов (трудовых, материально-технических, финансовых).

Оптимизация сетевых графиков по времени производится в случаях, если расчётный критический путь оказался больше или меньше нормативного. Если расчётный критический путь меньше нормативного, возникает дополнительный резерв времени, который при оптимизации может быть использован для увеличения продолжительности отдельных видов работ (критических). Если расчётный критический путь больше нормативного, возникает отрицательный резерв времени; в этом случае сетевая модель пересматривается и сокращается время выполнения работ, лежащих на критическом пути. Сокращение продолжительности работ достигается пересмотром карточки-определителя работ и ресурсов. Если продолжительность работы нужно сократить, то увеличивают ресурсы, а если увеличить, необходимо уменьшить ресурсы.

При проведении оптимизации по времени рекомендуется уменьшать или увеличивать продолжительность не только критических работ, но и работ, лежащих на подкритических путях.

В результате сокращения или увеличения продолжительности работ получится новая сеть, требующая проверки всех расчётных параметров при сохранении ее топологии.

Оптимизацию сетевых графиков по времени рассмотрим на примере (рисунок 19).

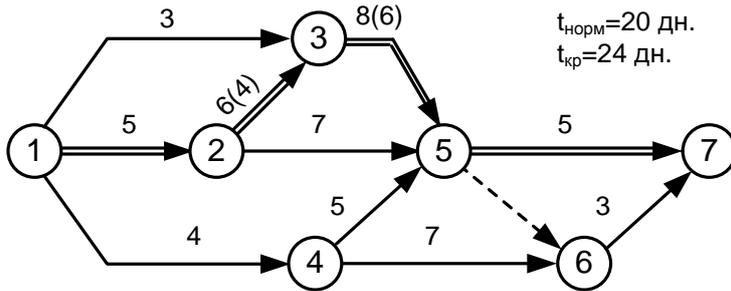


Рисунок 19 - Сетевой график

Продолжительность критического пути определяем расчётом ранних параметров работ. Данные записываем в таблицу 4.

Т а б л и ц а 4 – Расчет ранних параметров

i-j	До оптимизации				После оптимизации			
	t_{i-j}	T_{i-j}^{PH}	T_{i-j}^{PO}	r_{i-j}	t_{i-j}	T_{i-j}^{PH}	T_{i-j}^{PO}	r_{i-j}
1-2	5	0	5	0	5	0	5	0
1-3	3	0	3	8	3	0	3	6
1-4	4	0	4	0	4	0	4	0
2-3	6	5	11	0	4	5	9	0
2-5	7	5	12	7	7	5	12	3
3-5	8	11	19	0	6	9	15	0
4-5	5	4	9	10	5	4	9	6
4-6	7	4	11	8	7	4	11	4
5-6	0	19	19	0	0	15	15	0
5-7	5	19	24	0	5	15	20	0
6-7	3	19	22	2	3	15	18	2
	Соб.7	24	$t_{кр} = 24$	$\sum r = 35$			$t_{кр} = 20$	$\sum r = 21$

Из расчёта видно, что продолжительность критического пути ($t_{кр} = 24$) больше нормативной ($t_{норм} = 20$). Уменьшаем продолжительность критических работ за счёт перераспределения внутренних ресурсов, не меняя топологии сети. Новые продолжительности работ проставлены на графике (рисунок 19) в скобках.

После изменения продолжительности работ производим повторный расчёт, из которого видно (см. таблицу 4), что длина критического пути равна нормативной. При необходимости можно менять продолжительность работ как на критических, так и подкритических путях, тогда положение критического пути может измениться.

2.7. Оптимизация сетевых графиков по равномерному потреблению трудовых ресурсов

Оптимизация сетевых графиков по равномерному потреблению трудовых ресурсов производится для решения вопросов равномерного использования рабочих в целом или по специальностям (монтажники, сантехники, электрики и др.).

Оптимизация по трудовым ресурсам в целом выполняется в следующей последовательности. Сетевой график строится в масштабе времени (рисунок 20), а над работами кроме продолжительности их выполнения указывают количество рабочих. Под сетевым графиком строится график потребности рабочих. Если график имеет значительные колебания, то с точки зрения использования рабочих он составлен неудовлетворительно и должен быть скорректирован. Количество рабочих, выполняющих критические работы, не меняется, а корректируют число рабочих на некритических работах за счёт сокращения частных резервов времени. Затем строится новый график потребности рабочих (рисунок 21).

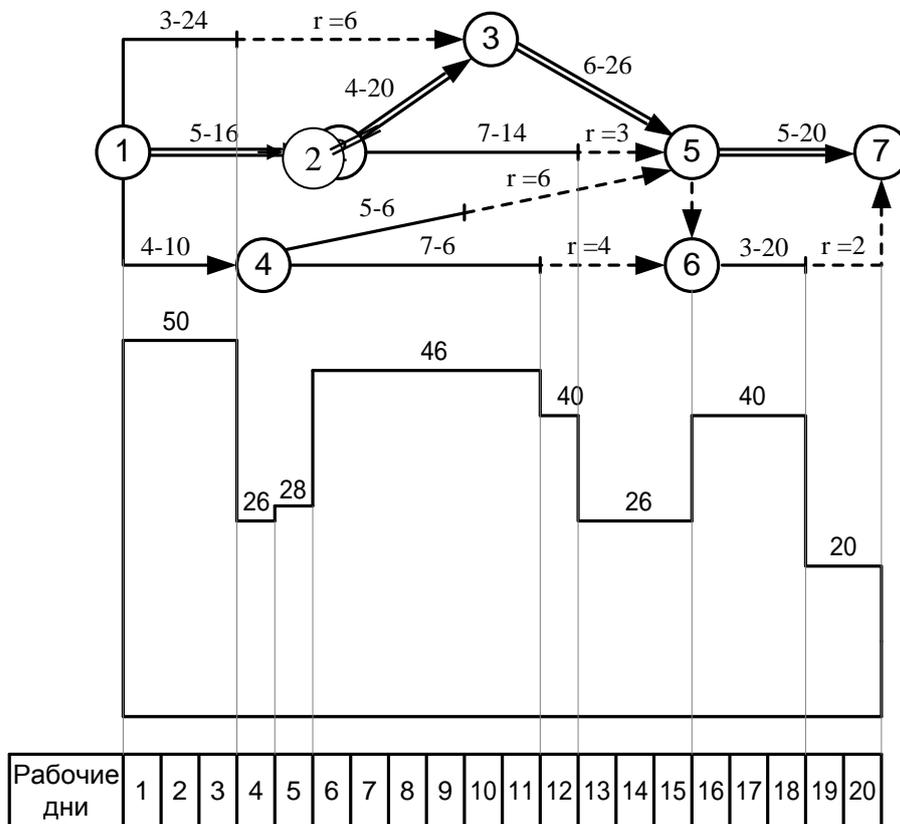


Рисунок 20 - Сетевой график и график потребности рабочих до оптимизации

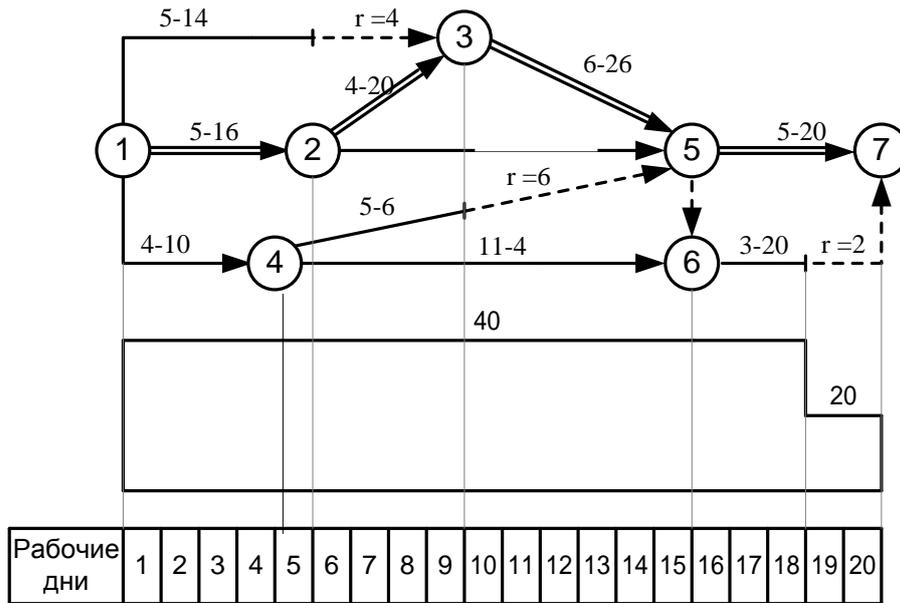


Рисунок 21 - Сетевой график и график потребности рабочих после оптимизации

2.8. Оптимизация сетевых графиков по потреблению материалов

Потребность в материальных ресурсах, предусмотренных сетевым графиком, не всегда может быть обеспечена поставщиками. Это, в свою очередь, приведёт к срыву сроков выполнения работ. Такое положение может возникнуть по одному или нескольким видам материалов.

Распределение нескольких видов материальных ресурсов, необходимых для выполнения работ сетевого графика, при существующих ограничениях является сложной задачей, требует громоздких вычислений и сравнения большого числа вариантов. Поэтому такая задача решается приближённо.

Для оптимизации сетевого графика по потреблению материалов строится линейный график потребности в материалах и конструкциях (рисунок 22), на котором расход материалов указывается в виде стрелок. Каждая стрелка представляет собой работу с частным резервом времени, привязанную к календарному сроку, потребляющую тот или иной материал, указанный в левой части графика.

Длина стрелки и её положение указывает на время расхода соответствующего материала. Работа кодируется двумя событиями, номера которых проставляются над стрелкой, где указывается также продолжительность потребления материала в днях и частный резерв времени. Под стрелкой проставляется потребность материала для выполнения данной работы. Работы, лежащие на критическом пути показываются на графике двумя линиями, а частные резервы времени – пунктиром. В случае несоответствия между потребностью в определённых материалах и возможностями поставщиков, влекущего нарушение хода выполнения работ, сетевой график корректируется за счёт частных резервов времени

ЛИТЕРАТУРА

1. Указания по разработке сетевых графиков и применению их в строительстве. СН 391-68. – М., 1969. – 51 с.
2. Бороздин, И.Г. Сетевое планирование и управление в строительстве: учеб. пособие для строит. вузов и факультетов / И.Г. Бороздин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1972. – 288 с.
3. Рунов, В.К. Организация и планирование строительства: учеб. пособие для слушателей факультета организаторов промышленного производства / В.К. Рунов, В.Н. Фомин. – Горький, 1978. – 94 с.
4. Фомин, В.Н. Моделирование организации строительного производства: учеб. пособие / В.Н. Фомин, Э.И. Гусев, Д.В. Хавин. – Н.Новгород, 2000. – 144 с.
5. Фомин, В.Н. Организация строительного производства: учеб. пособие / В.Н. Фомин, Д.В. Хавин. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2006. – 115 с. – Ч. I.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Исходные данные для заданий № 1 и № 2

Наименование работ	Продолжительность выполнения работ по вариантам в днях																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1 Подготовительный период	20	22	18	24	26	20	22	24	8	6	7	10	8	5	6	18	16	17	20	18	15	16	18	24	26	20	22
2 Земляные работы	8	10	10	6	8	10	6	8	7	6	8	7	9	8	10	17	16	18	17	19	18	20	10	6	8	10	6
3 Монтаж фундаментов	30	32	34	28	26	30	32	26	14	16	17	15	14	16	15	24	26	27	25	24	26	25	24	18	16	20	22
4 Монтаж колонн и подкрановых балок	66	60	64	62	60	64	66	60	9	10	7	8	10	11	10	19	20	17	18	20	21	20	54	52	50	54	56
5 Монтаж конструкций покрытия	60	58	60	58	58	60	62	58	25	20	23	25	30	25	24	35	30	33	35	40	35	34	50	48	48	50	52
6 Монтаж стеновых панелей и оконных переплётов	56	50	54	52	50	54	56	50	30	25	28	23	20	20	25	40	35	38	33	30	30	35	44	42	40	44	46
7 Устройство кровли	28	26	26	26	26	28	28	26	20	25	30	25	30	20	35	30	35	40	35	40	30	45	16	16	16	18	18
8 Заполнение оконных, дверных и воротных проёмов	20	16	18	16	16	18	18	16	15	20	25	30	20	25	30	25	30	35	40	30	35	40	8	6	6	8	8
9 Устройство подготовки под полы	32	30	32	30	30	32	34	30	35	40	30	20	25	30	35	45	50	40	30	35	40	45	22	20	20	22	24
10 Устройство полов	34	32	34	32	32	34	36	32	40	45	50	35	40	50	45	50	55	60	45	50	60	55	24	22	22	24	26
11 Штукатурные работы	24	22	24	22	20	24	24	20	30	35	40	25	30	35	40	40	45	50	35	40	45	50	14	12	10	14	14
12 Малярные работы	20	18	20	18	20	18	20	18	50	55	40	45	40	50	55	60	65	50	55	50	60	65	10	8	10	8	10
Примечание - Число пролётов назначается преподавателем																											

