

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Строительное производство»

О. Е. ПАНТЮХОВ, В. М. ШАПОВАЛОВ, М. Н. ДОЛГАЧЕВА

РАСЧЕТ СЕТЕВОГО ГРАФИКА

Учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство»

Одобрено методической комиссией факультета «Промышленное и гражданское строительство»

Гомель 2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Строительное производство»

О. Е. ПАНТЮХОВ, В. М. ШАПОВАЛОВ, М. Н. ДОЛГАЧЕВА

РАСЧЕТ СЕТЕВОГО ГРАФИКА

Учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство»

Одобрено методической комиссией факультета «Промышленное и гражданское строительство»

Гомель 2014

УДК 691(075.8)
ББК 38
П16

Рецензент – заведующий лабораторией государственного научного учреждения «Институт механики металлополимерных систем В. А. Белого» *С. В. Зотов*

Пантюхов, О. Е.
П16 Расчет сетевого графика: учеб.-метод. пособие для студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство» О. Е. Пантюхов, В. М. Шаповалов, М. Н. Долгачева; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 20 с.
ISBN 978-985-554

Приведены примеры расчета сетевого графика табличным способом и ручным расчетом непосредственно на графике. Также рассматривается теоретический материал для расчета сетевых графиков.

Предназначено для студентов строительных специальностей ПГС.

УДК 691(075.8)
ББК 38

ISBN 978-985-554

© О. Е. Пантюхов, В. М. Шаповалов, М. Н. Долгачева, 2014
© Оформление. УО «БелГУТ», 2014

1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

Сетевой моделью называется графическое изображение различных процессов, выполнение которых необходимо для достижения поставленной цели с установлением взаимосвязей и взаимозависимостей между ними.

По внешнему виду сетевой график выражает собой своеобразную сеть, состоящую из линий и узлов, каждая из которых несет определенную и смысловую нагрузку. Пример сетевой модели в общем виде показан на рисунке 1.

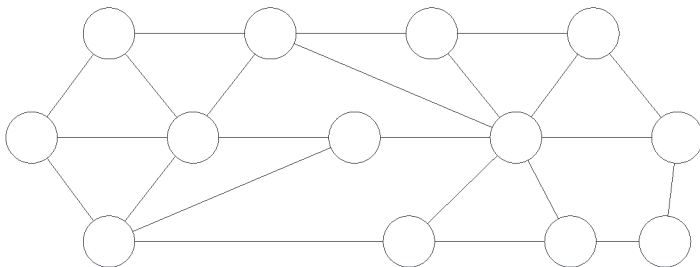


Рисунок 1 – Общий вид сетевой схемы

Основными элементами сетевого графика являются работы, события и пути.

Под термином работа в сетевом графике понимают любой производственный процесс, требующий затрат труда, времени и ресурсов. Сюда можно отнести непосредственно строительно-монтажные работы, например монтаж башенного крана, монтаж фундаментных блоков, рытье котлованов, монтаж стеновых панелей, побелку потолков, масляную окраску стен, установку дверных блоков, монтаж технологического оборудования и т. д.

Под работой понимается и ожидание, т. е. пассивный процесс, протекающий во времени, но не требующий затрат труда и других видов ресурсов. Практически под ожиданием в сетевом графике понимают технологические или организационные перерывы между выполняемыми строительно-монтажными работами, например сушка оштукатуренных поверхностей, необходимая перед выполнением малярных работ; твердение бетона в монтажных конструкциях; ожидание благоприятного времени для проведения

работ по озеленению и благоустройству территорий и др. В качестве организационных перерывов можно назвать ожидание перебазировки рабочих бригад, строительных машин и механизмов с объекта на объект, ожидание поставок материальных ресурсов и технологического оборудования и т. д.

Третьим выражением работы является зависимость, которую иначе называют фиктивной работой, не требующей затрат труда, времени и ресурсов. В сетевом графике зависимость указывает на то, что выполнение последующих за ней работ возможно только при условии предварительного выполнения предшествующих работ. Фиктивная работа может выражать ресурсную (рисунок 2) или технологическую (рисунок 3) зависимость между работами. Ресурсная зависимость в данном случае означает, что при наличии одного монтажного крана монтаж фундаментов на втором участке можно начать лишь после окончания монтажа фундаментов на первом участке (рисунок 2); технологическая зависимость (9–10) показывает, что малярные работы можно выполнять лишь после завершения штукатурных работ.

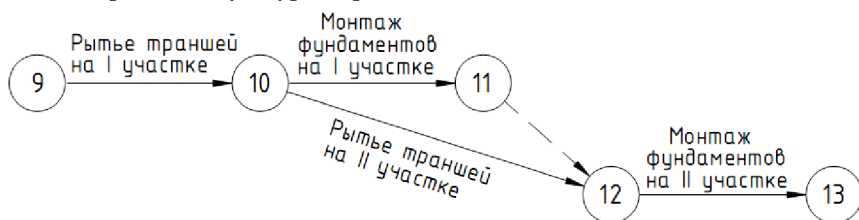


Рисунок 2 – Фрагмент сетевого графика, выражающего ресурсную зависимость между работами (фиктивная работа 11–12)

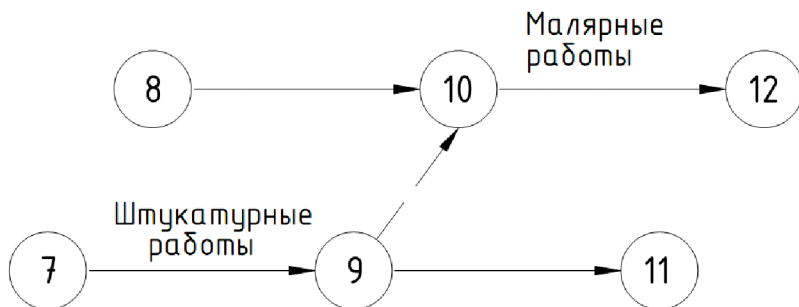


Рисунок 3 – Фрагмент сетевого графика, выражающего технологическую зависимость между работами (фиктивная работа 9–10)

Другим элементом сетевого графика является событие, которое выражает собой результат какой-либо производственной деятельности. Этот результат может носить промежуточный или окончательный характер и выражать собой итог выполнения одной или нескольких предшествующих работ, которые дают возможность начать выполнение последующих работ. Применительно к рисунку 4 событие 1 можно сформулировать как «Разработка грунта закончена».

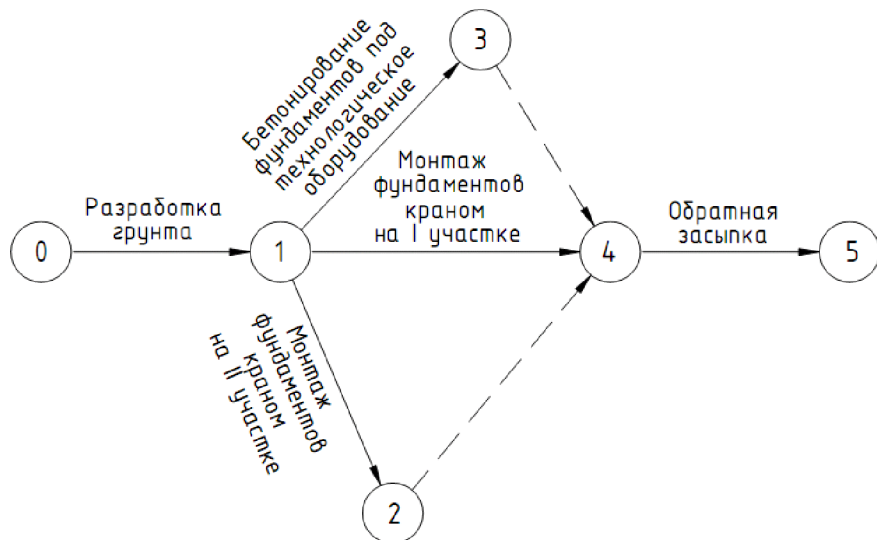


Рисунок 4 – Фрагмент сетевого графика с наименованием на нем работ

Более сложной является формулировка события 4, так как оно является результатом свершения одной действительной работы 1–4 и двух фиктивных работ– 3–4 и 2–4. Свершение события 4 означает, что «Бетонирование фундаментов под технологическое оборудование выполнено» и «Монтаж фундаментов краном на первом участке и на втором закончен». Данные примеры показывают, что в условиях строительного производства выполнение определенных событий еще не всегда означает наличие всех необходимых условий для выполнения последующих работ. Например, для того чтобы свершилось событие 3, необходимо не только выполнить работы по разработке грунта и бетонированию фундаментов под технологическое оборудование, но и быть обеспеченными необходимыми материальными ресурсами, в частности товарным бетоном. Для того чтобы свершились события 2 и 4, в качестве дополнительного условия необходимо учитывать условие, что «Фундаментные блоки на строительную площадку доставлены» (рисунок 5). Приведен-

ные примеры показывают, что событие можно рассматривать как определенную стадию выполнения производственной программы.

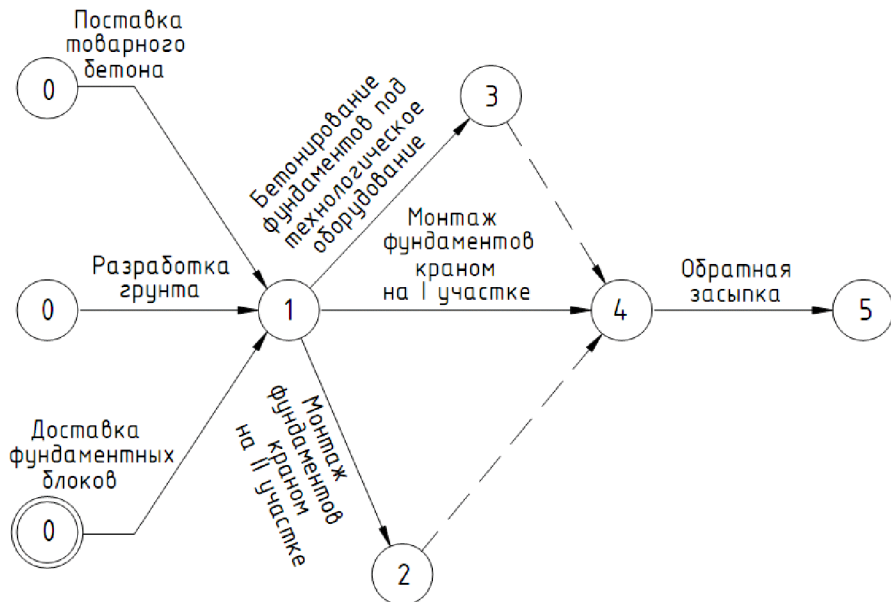


Рисунок 5 – Фрагмент сетевого графика с выделением производственных ресурсов

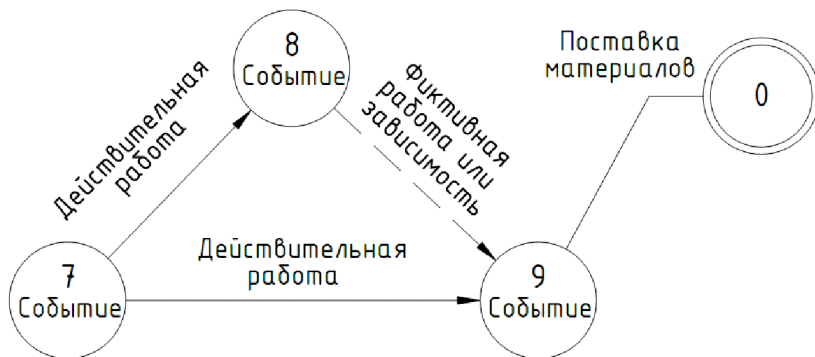


Рисунок 6 – Графическое изображение основных элементов сетевой модели

В отличие от работы, событие не характеризует какой-либо процесс, поэтому оно не имеет продолжительности во времени и не требует затрат средств. Каждое событие выражает момент времени, к которому завершено выполнение последней из входящих в него работ. Одновременно оно означает возможность выполнения всех последующих работ.

На сетевом графике события изображаются кружками, действительные работы и ожидания – сплошными стрелками, зависимости или фиктивные работы – пунктирными стрелками, внешние работы (поставка материалов, деталей, конструкций, полуфабрикатов, строительных машин, механизмов, технологического оборудования и других видов ресурсов) – сплошными стрелками с двойными кружками, расположенными в начале стрелок (рисунок 6). Стрелки на сетевом графике не имеют векторного содержания, вводятся в сетевую модель без масштаба, их длина и направление выбираются произвольно. Тем не менее на графике они располагаются в определенном порядке, который характеризует технологическую последовательность выполнения строительно-монтажных работ. Каждая работа сетевого графика ограничена двумя событиями. Работы выражают переход от одного события к другому. На сетевом графике различают начальные и конечные события. Событие, из которого выходит работа, называется начальным или предшествующим по отношению к данной работе. Событие, в которое входит работа, называется конечным или последующим. Из данных определений видно, что одно и то же событие одновременно является и начальным, и конечным или предшествующим и последующим. По отношению к любой работе событие, находящееся у начала стрелки, выражает начальное событие, а находящееся у конца стрелки – конечное событие. В связи с этим каждая работа обозначается номерами начального и конечного события. Например, если работа выходит из события 9 и входит в событие 13, то она имеет шифр 9–13. В свою очередь события кодируются цифрами, проставляемыми внутри кружков, которые не устанавливают последовательность выполнения событий (рисунок 7).

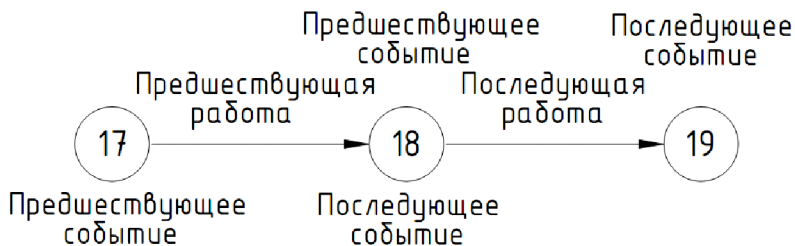


Рисунок 7 – Характеристика на сетевом графике предшествующих и последующих событий и работ

Из рисунка 7 видно, что каждое событие имеет двойственное значение: во-первых, оно означает момент выполнения входящих в событие работ и, во-вторых, показывает возможность выполнения последующих работ или выходящих из события. Двойственность событий выражается также в том, что они являются конечными для одних работ и начальными для других.

Кроме того, события можно охарактеризовать как простые и сложные в зависимости от числа входящих в них и выходящих из них работ. Простым событием называется такое событие, в которое входит и из которого выходит только одна работа. В сложное событие входят или выходят две и более работ. Например, на рис. 2 событие 9 простое, так как из него выходит одна работа 9–10, а событие 10 уже сложное, ибо входит в него одна работа 9–10, а выходят две работы –10–11 и 10–12.

Первое событие сетевого графика, в отличие от других, называется исходным, так как ему не предшествуют какие-либо работы. Исходное событие выражает собой момент наличия условий для выполнения работ по сооружению какого-либо объекта. Противоположным исходному событию является завершающее событие, которое не имеет никаких последующих работ. Оно характеризует собой достижение конечной цели всего комплекса операций, например ввод объекта в действие. Все остальные события называются промежуточными.

Так как все работы на сетевом графике разные, то они имеют различную продолжительность выполнения при прочих равных условиях, поэтому событие, в которое входят несколько работ, считается свершившимся после выполнения самой длительной работы. Продолжительность работ выносится на сетевой график и записывается над или под стрелкой; наименование работ выносят в специальную таблицу или проставляют непосредственно на графике над стрелкой.

Третьим основным элементом сетевого графика является путь. На сетевом графике взаимосвязанные между собой работы и события образуют пути. Любая последовательность работ или цепь по направлению стрелок образует путь. Если путь начинается в исходном событии и заканчивается завершающим событием, то такой путь называется полным. Полный путь, или кратко путь, может быть описан последовательностью работ или событий. В каждой сетевой модели можно выделить несколько путей. Продолжительность пути определяется суммой продолжительности составляющих его работ. На сетевом графике также выделяют части полного пути, например от какого-либо события. Такие пути называются укороченными. Среди полных путей в результате сравнения их суммарной продолжительности работ выбирается путь с максимальной продолжительностью работ, который называется критическим путем. Он определяет полную продолжительность работ по сооружаемому объекту, так как для выполнения всех работ, лежащих на критическом пути, необходима максимальная продолжитель-

ность. Работы, находящиеся на критическом пути, называются критическими. Их продолжительность определяет конечный срок выполнения комплекса операций.

Следовательно, сокращение или увеличение продолжительности критических работ непосредственно отражается на общей продолжительности выполнения всех работ, определяющей срок ввода объекта в действие.

В составе одного сетевого графика может существовать несколько критических путей, имеющих одинаковую максимальную продолжительность. Если путь имеет продолжительность меньше критической, но по величине близкой к ней, то такой путь называют подкритическим путем. Все остальные пути считаются ненапряженными или некритическими.

Работы, находящиеся на критическом пути, на сетевом графике обозначаются утолщенными линиями или двойными стрелками.

Таким образом, наличие критического пути и возможность представления в наглядной форме последовательности выполняемых работ, определяющих общий срок строительства объекта, являются важнейшим преимуществом сетевых моделей по сравнению с другими моделями. Кроме того, критический путь служит основой для оптимизации программы работ, так как для получения сокращенного срока ввода объекта в действие нет необходимости уменьшать продолжительность всех работ, а достаточно уменьшить критические работы. Это связано с тем, что некритические работы обладают некоторыми резервами времени, которые также являются основными элементами сетевого графика. Резервы времени характеризуют возможные сдвиги сроков свершения событий и выполнения работ, не изменяющие моменты исполнения завершающего события.

При разработке сетевых моделей могут использоваться сетевые графики, ориентированные только на работы. В этом случае над стрелками записываются наименования работ, а события получают порядковые номера. Различают также сетевые графики, ориентированные только на события. В этом случае на графике записываются наименования событий. Третьей разновидностью являются сетевые графики, ориентированные на работы и события. Здесь на графике записываются наименования событий и работ.

Наиболее простую форму имеют сетевые графики, ориентированные на работы. Изложение всего последующего материала ведется на основе таких сетей.

2 МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

В числе параметров сетевой модели, которые необходимо рассчитать, можно назвать продолжительность критического пути и критических работ, ранние и поздние сроки выполнения работ, ранние и поздние сроки совершения событий, резервы времени не критических работ. Следовательно, расчет сетевого графика заключается в расчете его параметров. Они могут быть получены по формулам (аналитический способ расчета), с помощью таблиц, непосредственно на графике или на базе ЭВМ.

Аналитический способ расчета. Для того чтобы понять смысл формул, возьмем фрагмент сетевого графика (рисунок 8), состоящего из четырех событий и трех работ. Исходя из рисунка 8, можно сформулировать следующее обозначение параметров сетевого графика:

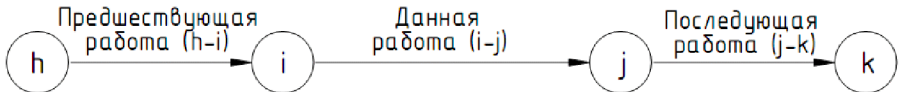


Рисунок 8 - Фрагмент сетевого графика, записанного в аналитической форме

- t_{i-j} – продолжительность данной работы;
- t_{j-k} – продолжительность последующей работы;
- $T_{кр}$ – продолжительность критической работы;
- $t(L_n)$ – продолжительность n-го пути;
- $t_{i-j}^{p.p}$ – раннее начало работы;
- $t_{i-j}^{n.p}$ – позднее начало работы;
- $t_{i-j}^{p.o}$ – раннее окончание работы;
- $t_{i-j}^{n.o}$ – позднее окончание работы;

- t_i^P – раннее совершение события;
- t_i^F – позднее совершение события;
- t_j^j – время совершение предшествующего события;
- t_j – время совершение последующего события;
- R_{i-j} – общий или полный резерв времени работы;
- r_{i-j} – частный резерв времени работы;
- R_i – резерв времени события;
- $R(L)$ – полный резерв времени пути.

Исходя из принятых обозначений рассмотрим основные аналитические формулы, необходимые для определения параметров сетевого графика. В качестве примера используем сетевую модель, представленную на рисунке 9.

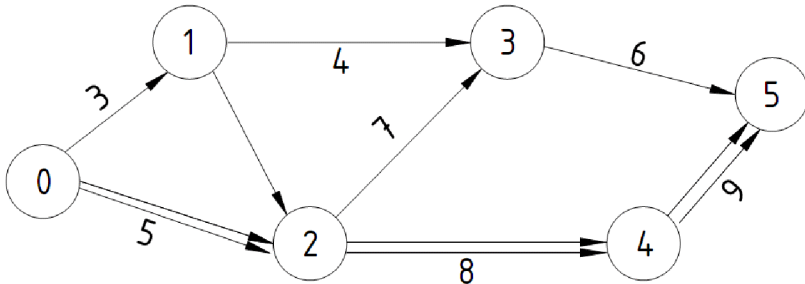


Рисунок 9 - Фрагмент сетевого графика, записанного в аналитической форме

Ранние сроки начала и окончания работ. Эти сроки определяются для каждой работы сетевого графика при переходе от более ранних событий к более поздним.

Раннее окончание работы равно раннему ее началу и продолжительности работы:

$$t_{i-j}^{p,o} = t_{i-j}^{p,n} + t_{i-j} \quad (1)$$

Следовательно, для работ, выходящих из исходного события, ранние сроки их начала равны нулю, а ранние сроки их окончания равны продолжительности работ.

Раннее начало последующей работы равно раннему окончанию данной работы, т. е.

$$t_{j-k}^{p.H} = t_{i-j}^{p.O} t_{i-j}, \quad (2)$$

Рассмотрим ситуацию, когда данной работе предшествует несколько работ. В этом случае ее раннее начало равно максимальному значению из всех ранних окончаний предшествующих работ:

$$t_{j-k}^{p.H} = \max t_{i-j}^{p.O}. \quad (3)$$

Например, определим ранние сроки начала и окончания работ для сетевой модели, представленной на рисунке 8.

Для работ 0–1 и 0–2 ранние сроки начала равны нулю, а ранние сроки окончания равны их продолжительности:

$$\begin{aligned} t_{0-1}^{p.H} &= 0; & t_{0-1}^{p.O} &= t_{0-1}^{p.H} + t_{0-1} = 0 + 3 = 3; \\ t_{0-2}^{p.H} &= 0; & t_{0-2}^{p.O} &= t_{0-2}^{p.H} + t_{0-2} = 0 + 5 = 5. \end{aligned}$$

Продолжительность фиктивной работы 1–2 равна 0, следовательно, ее раннее окончание равно раннему началу работы:

$$t_{1-2}^{p.H} = t_{0-1}^{p.O} = 3; \quad t_{1-2}^{p.O} = t_{1-2}^{p.H} + t_{1-2} = 3 + 0 = 3.$$

Работы 2–3 и 2–4 выходят из одного события 2, в которое входят две предшествующие работы – 0–2 и 1–2:

$$\begin{aligned} t_{2-3}^{p.H} &= t_{2-4}^{p.H} = \max\{t_{0-2}^{p.O}; t_{1-2}^{p.O}\} = \max\{5; 3\} = 5; \\ t_{2-3}^{p.O} &= t_{2-3}^{p.H} + t_{2-3} = 5 + 7 = 12; \\ t_{2-4}^{p.O} &= t_{2-4}^{p.H} + t_{2-4} = 5 + 8 = 13. \end{aligned}$$

По отношению к работам, входящим в завершающее событие, их максимальное окончание определяет позднее окончание работы и длину критического пути:

$$t_{j-k}^{p.O} = \max t_{j-k}^{p.O}; \quad (4)$$

$$T_{кр} = \max \sum t_{i-j}, \quad (5)$$

В заключительное событие 5 входят две работы – 3–5 и 4–5, причем вторая работа имеет максимальное раннее окончание $t_{4-5}^{p.o} = 22$ дням. Следовательно, она определяет позднее окончание всех работ, входящих в завершающее событие, и длину критического пути:

$$t_{4-5}^{p.o} = \max t_{4-5}^{p.o} = 22 \text{ дня};$$

$$T_{кр} = \sum t_{i-j} = 22 \text{ дня}.$$

Поздние сроки начала и окончания работ. Поздние сроки начала и окончания работ определяются в обратном направлении, т. е. от завершающего события к исходному.

Для того чтобы найти позднее начало любой работы, необходимо из позднего окончания работы вычесть ее продолжительность:

$$t_{i-j}^{п.н.} = t_{i-j}^{п.o} - t_{i-j}. \quad (6)$$

Позднее окончание данной работы соответствует позднему началу последующей работы, т. е.

$$t_{i-j}^{п.o} = t_{j-k}^{п.н.}. \quad (7)$$

Рассмотрим ситуацию, когда за данной работой следуют несколько работ. В этом случае ее позднее окончание равно минимальному значению из всех поздних начал последующих работ:

$$t_{i-j}^{п.o} = \min t_{j-k}^{п.н.}. \quad (8)$$

Для работ 3–5 и 4–5, выходящих из завершающего события 5 сетевой модели, представленной на рис. 9, позднее их окончание соответствует наибольшему раннему окончанию работы 4–5 и соответствует 22 дням. Эта же величина и определяет длину критического пути. Позднее начало работы 4–5 равно ее позднему окончанию (22 дня) минус продолжительность (9 дней), т. е.

$$t_{4-5}^{п.н.} = t_{4-5}^{п.o} - t_{4-5} = 22 - 9 = 13 \text{ дней}.$$

Аналогично для работы 3–5 имеем

$$t_{3-5}^{п.н.} = t_{3-5}^{п.o} - t_{3-5} = 22 - 6 = 16 \text{ дней}.$$

В качестве примера рассчитаем также поздние сроки начала и окончания работы 2–3, которая имеет две последующие работы – 3–4 и 4–5:

$$t_{2-3}^{п.0} = t_{1-3}^{п.0} = \min\{t_{2-4}^{п.н}; t_{2-5}^{п.н}\} = \min\{13; 16\} = 13;$$

$$t_{2-3}^{п.н} = t_{2-3}^{п.0} - t_{2-3} = 13 - 7 = 6 \text{ дней.}$$

Для критических работ ранние и поздние сроки начала и окончания работ равны. В нашем примере такими работами являются работы 0–2, 2–4, 4–5, у которых

$$t_{i-j}^{п.н} = t_{i-j}^{п.н}; \quad (9)$$

$$t_{i-j}^{п.0} = t_{i-j}^{п.0}. \quad (10)$$

Следовательно, критический путь проходит через события 0, 2, 4, 5. Для событий критического пути равны ранние и поздние сроки их свершения, т. е.

$$t_i^п = t_i^р. \quad (11)$$

Работы критического пути на сетевом графике выделяются двойными стрелками (рисунок 9).

Общие резервы времени. При определении резервов времени длина критического пути сравнивается с длиной любого другого пути сетевого графика. Разница между их продолжительностью и составляет полный резерв времени пути:

$$R(L_n) = T_{кр} - t(L_n). \quad (12)$$

Рассчитаем полные резервы времени путей применительно к нашему примеру (рисунок 9). Результаты расчетов даны в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что критический путь не имеет резервов времени $R(L)_6 = 0$.

При использовании методов сетевого планирования различают резервы времени на выполнение работ R_{i-j} и резервы времени на свершение событий R_i .

Таблица 1 - Расчет полных резервов времени путей сетевого графика

Пути сетевого графика по событиям	Продолжительность работ, входящих в данный путь, дн.	Длина пути	Полезные резервы времени путей
0–1–3–5	$L_1 = 3+4+6$	13	$R(L_1) = T_{кр} - t(L_1) = 22 - 13 = 9$
0–1–2–3–5	$L_2 = 3+0+7+6$	16	$R(L_2) = T_{кр} - t(L_2) = 22 - 16 = 6$
0–1–2–3–4–5	$L_3 = 3+0+7+0+9$	19	$R(L_3) = T_{кр} - t(L_3) = 22 - 19 = 3$

0-2-3-5	$L_4 = 5+7+6$	18	$R(L_4) = T_{кр} - t(L_4) = 22 - 18 = 4$
0-2-3-4-5	$L_5 = 5+7+0+9$	21	$R(L_5) = T_{кр} - t(L_5) = 22 - 21 = 1$
0-2-4-5	$L_6 = 5+8+9$	22	$R(L_6) = T_{кр} - t(L_6) = 22 - 22 = 0$
0-1-3-4-5	$L_7 = 3+4+0+9$	16	$R(L_7) = T_{кр} - t(L_7) = 22 - 16 = 6$
0-1-2-4-5	$L_8 = 3+0+8+9$	20	$R(L_8) = T_{кр} - t(L_8) = 22 - 20 = 2$

Общий, или полный, резерв времени работы выражает время, на которое можно переместить начало данной работы. Он также показывает время увеличения продолжительности данной работы, при котором длина максимального пути, проходящего через эту работу, не превышает длины критического пути.

При полном использовании общего резерва времени работа превращается в критическую.

Резервы времени событий показывают максимально допустимый период времени, на который можно задержать свершения событий без увеличения длины критического пути. Разница между наиболее поздним из допустимых и наиболее ранним из невозможных сроков свершения данного события образует резерв времени этого события:

$$R_i = t_i^P - t_i^R. \quad (13)$$

Общий резерв времени работ можно рассчитать различными способами. Наиболее распространенным является определение разности позднего и раннего начала или позднего и раннего окончания работ:

$$R_{i-j} = t_{i-j}^{P.H} - t_{i-j}^{P.H}; \quad (14)$$

или

$$R_{i-j} = t_{i-j}^{P.O} - t_{i-j}^{P.O}. \quad (15)$$

Например, определим общий резерв времени некоторых работ сетевой модели (рисунок 9) исходя из аналитических формул:

$$R_{0-1} = t_{0-1}^{P.H} - t_{0-1}^{P.H} = 2 - 0 = 2 \text{ дня}; \quad R_{0-2} = t_{0-2}^{P.H} - t_{0-2}^{P.H} = 0 - 0 = 0;$$

$$R_{1-2} = t_{1-2}^{P.H} - t_{1-2}^{P.H} = 5 - 3 = 2 \text{ дня}; \quad R_{1-3} = t_{1-3}^{P.H} - t_{1-3}^{P.H} = 9 - 3 = 6 \text{ дней и т.д.}$$

Аналогичные результаты получаем три определения разницы между окончаниями работ.

Частные резервы времени. По отношению к работам сетевого графика частные резервы времени называются независимыми резервами, так как их использование не влияет на сроки выполнения других работ. В отличие от них, общие резервы времени работ и событий являются зависимыми резервами, так как их использование по какой-либо работе или событию требует перераспределения резервов по всем работам и событиям, находящимся на путях, проходящих через данную работу или событие.

Частный резерв времени работы характеризует время, на которое можно перенести начало работы или увеличить ее продолжительность, не изменяя раннего начала последующих работ. Частные резервы времени также можно определить различными методами. В частности, их рассчитывают как разность между началом последующей работы и ранним окончанием данной работы. Его можно также определить по ранним началам данной и последующей работ и продолжительности самой работы:

$$r_{i-j} = t_{j-k}^{p.H} - t_{i-j}^{p.O} \quad (16)$$

или

$$r_{i-j} = t_{j-k}^{p.H} - t_{i-j}^{p.H} - t_{i-j} \quad (17)$$

Найдем частные резервы времени для некоторых работ нашего сетевого графика (рисунок 9).

Определим частные резервы времени работ сетевой модели, представленной на рисунке 9:

$$r_{0-1} = t_{1-2}^{p.H} - t_{0-1}^{p.O} = 3 - 3 = 0; \quad r_{0-2} = t_{2-3}^{p.H} - t_{0-2}^{p.O} = 5 - 5 = 0;$$

$$r_{1-2} = t_{2-3}^{p.H} - t_{1-2}^{p.O} = 5 - 3 = 2; \quad r_{1-3} = t_{3-4}^{p.H} - t_{1-3}^{p.O} = 12 - 7 = 5;$$

и т.д.

Частные резервы времени работ, входящих в завершающее событие, совпадают с общими резервами времени этих работ, так как они не имеют последующих работ. В связи с этим в формуле (16) раннее начало последующей работы заменяется поздним окончанием данной работы.

$$r_{3-5} = t_{3-5}^{p.O} - t_{3-5}^{p.O} = 22 - 18 = 4 \text{ дня};$$

$$r_{4-5} = t_{4-5}^{p.O} - t_{4-5}^{p.O} = 22 - 22 = 0.$$

Анализируя полученные результаты, можно заметить, что общий резерв времени работы равен частному резерву времени данной и последующей работы:

$$R_{i-j} = r_{i-j} + r_{j-k} \quad (18)$$

Например,

$$R_{1-3} = r_{1-3} + r_{3-4} = 5 + 1 = 6.$$

По отношению к любому пути сетевого графика его полный резерв также складывается из суммы частных резервов времени работ, находящихся на данном пути:

$$R(L_n) = \sum r_{i-j}(L_n) \quad (19)$$

Например, $R(L_n) = r_{0-1} + r_{1-3} + r_{3-5} = 0 + 5 + 4 = 9$, что соответствует полному резерву времени этого пути (см. первую строку таблица 1).

Табличный способ расчета параметров сетевого графика. В отличие от аналитического способа расчета, табличный способ расчета параметров сетевой модели характеризуется простотой и наглядностью. В этом случае расчет ведется по работам сетевого графика. Составим такую таблицу для сетевой модели, представленной на рисунке 9 (таблица 2). При заполнении таблицы первоначально переносим из сетевого графика код работы и ее продолжительность в днях (графы 2 и 3 таблицы 2). Запись кодированных работ производится по восходящим событиям, т. е. первоначально записываются работы, выходящие из нулевого события, 1, 2 и т. д. При определении числа предшествующих работ (графа 1 таблицы 2) обращаем внимание на первую колонку цифр кода работ. Затем находим эти цифры во второй колонке цифр кода работ по направлению вверх от данной работы.

Например, для работы 1–2 имеем только одну предшествующую работу, так как цифра 1 вверху от работы 1–2 встречается один раз в работе 0–1. Ранее начало и окончание работ (графы 4 и 5 таблицы 1) рекомендуется рассчитывать одновременно. Для работ, выходящих из нулевого события, ранее начало равно 0. Это относится к работам 0–1 и 0–2, а их раннее окончание соответствует их продолжительности и получено по формуле (1).

Таблица 2 - Расчет параметров сетевого графика в табличной форме

Число предшествующих работ	Код работ	Продолжительность работ	Раннее начало работы	Раннее окончание работы	Позднее начало работы	Позднее окончание работы	Общий резерв времени работы	Частный резерв времени работы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
-	0–1	3	0	3	2	5	2	0
-	0–2	5	0	5	0	5	0	0
1	1–2	0	3	3	5	5	2	2

1	1-3	4	3	7	9	13	6	5
2	2-3	7	5	12	6	13	1	0
2	2-4	8	5	13	5	13	0	0
2	3-4	0	12	12	13	13	1	1
2	3-5	6	12	18	16	22	4	4
2	4-5	9	13	22	13	22	0	0

Далее используется правило (2), в котором говорится, что раннее окончание предшествующей работы является ранним началом данной работы. Например, для работы 1-2 мы определили, что она имеет одну предшествующую работу 0-1, следовательно, ее раннее окончание $t_{0-1}^{p,0} = 3$ является $t_{1-2}^{p,n} = 3$. Если же данной работе предшествуют две и более работ, то раннее начало для данной работы выбирается по максимальному раннему окончанию предшествующих работ. Например, работа 2-3 имеет две предшествующие работы 0-2 и 1-2 с параметрами $t_{0-2}^{p,0} = 5$ дням и $t_{1-2}^{p,0} = 3$ дням. Следовательно, наибольшее время соответствует работе 0-2. Поэтому принимаем $t_{2-3}^{p,n} = 5$ дням. Затем к раннему началу работы прибавляем ее продолжительность и получаем раннее окончание работы:

$$t_{2-3}^{p,0} = t_{2-3}^{p,n} + t_{2-3} = 5 + 7 = 12 \text{ дней.}$$

Раннее окончание критической работы, входящей в завершающее событие, становится ее поздним окончанием (графа 7 таблицы 2). Эта же цифра определяет позднее окончание всех работ, входящих в завершающее событие. Например, для работы 4-5

$$t_{4-5}^{p,0} = t_{2-5}^{p,0} = 22 \text{ дням.}$$

Далее расчеты выполняются в обратном направлении. Из позднего окончания работы вычитается ее продолжительность и получается позднее начало данной работы (графа 6 таблицы 2). Например, для работы 4-5: $t_{4-5}^{n,n} = t_{4-5}^{n,0} - t_{4-5} = 22 - 9 = 13$ дням. Здесь расчеты ведутся с учетом последующих работ. Например, работа 2-3 имеет две последующие работы, так как вниз от нее мы находим две работы - 3-4 и 3-5, код которых начинается с цифры 3. Позднее окончание для нее:

$$t_{2-3}^{n,0} = \min\{t_{3-4}^{n,n}; t_{3-5}^{n,n}\} = \min\{13; 16\} = 13 \text{ дней.}$$

Из полученной цифры вычитаем продолжительность работы и результаты записываем в графа 6 таблицы 2:

$$t_{2-3}^{n,n} = 13 - 7 = 6 \text{ дням.}$$

После заполнения граф 1–7 таблицы находим критические работы, у которых величины раннего и позднего начала и раннего и позднего окончания равны друг другу. Показатели графа 8 таблицы 2 определяются как разность между параметрами граф 6 и 4 или граф 7 и 5. Вторую разность рекомендуется находить в качестве проверки ранее выполненных расчетов.

Частный резерв времени работы (графа 9 таблицы 2) находим по формуле (16). Для этого по таблице среди последующих работ находим любую работу, первая цифра кода которой одинакова с последней цифрой кода данной работы. Они имеют одинаковое раннее начало, из которого вычитается раннее окончание данной работы. Полученный результат характеризует частный резерв времени работы. Например, работа 2–3 имеет две последующие работы – 3–4 и 3–5. Их раннее начало: $t_{3-4}^{P,N} = t_{3-5}^{P,N} = 12$ дням. Раннее окончание данной работы:

$$t_{2-3}^{P,O} = 12 \text{ дням.}$$

Отсюда частный резерв времени работы 2-3 составит:

$$r_{2-3} = t_{3-4}^{P,N} - t_{2-3}^{P,O} = 12 - 12 = 0.$$

Известно, что критические работы не содержат резервов времени, следовательно, для них показатели в граф. 8 и 9 должны быть равны 0. Если это условие не соблюдается, то в расчетах допущена ошибка. Кроме того, необходимо помнить, что частные резервы времени работ меньше общих резервов времени. Применительно к нашему примеру эти условия соблюдаются.

Список литературы

1. Дикман Л.Г. Организация строительного производства / Учебник для строительных вузов - М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2006 - 608 с.
2. Белецкий Б.Ф., Булгакова И.Г. Строительные машины и оборудование. Ростов-на-Дону. Феникс, 2005 - 606 с.
3. ТКП 45-1.03-161-2009. Организация строительного производства. - Мн.: Минстройархитектура, 2010. - 47 с.
4. ТКП 45-1.03-229-2010. Проекты организации и производства работ жилых зданий. Правила разработки.
5. ТКП 45-4.04-149-2009. Генеральные планы промышленных зданий СНП.
6. ТКП 45-1.03.40-2006. Безопасность труда в строительстве. Общие требования. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск, 2007.
7. Ресурсно-сметные нормы на строительные конструкции и работ сб. 1012 -Мн.: Минстройархитектура, 2007.
8. Справочник современного строителя / Б.Ф. Белецкий, под общ. Ред. Л.Р. Маиляна. - 5-е изд. - Ростов на Д.: Феникс, 2008.-541 с.
9. Васильев С.Г. Проект производства работ: Методические указания по курсовому и дипломному проектированию. — Гомель: БелИИЖТ, 1992. - 62 с.
10. Охрана труда в строительстве: учеб. пособие для вузов / Г.В. Земляков; А.М. Лазаренков, Л.П. Филянович. - Минск: ИВЦ Минфина, 2012. - 471 с.