



МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

Г.С. БЕЛЯКОВ

ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МАДИ)

Кафедра «Экономика дорожного хозяйства»

Утверждаю
Зав. кафедрой доцент
_____ Д.В. Зайцев
« ____ » _____ 2018 г.

Г.С. БЕЛЯКОВ

ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Второе издание, переработанное и дополненное

МОСКВА
МАДИ
2018

УДК 625.7/8:005.7
ББК 39.311:65.315.373
Б448

Беляков, Г.С.

Б448 Основы организации и управления в строительстве: методические указания по выполнению расчетно-графической работы / Г.С. Беляков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МАДИ, 2018. – 40 с.

В методических указаниях излагаются теоретические основы и примеры расчета строительных потоков в рамках календарного планирования строительства.

Методические указания предназначены для выполнения расчетно-графической работы по курсу «Основы организации и управления в строительстве» обучающимися по направлению подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги».

УДК 625.7/8:005.7
ББК 39.311:65.315.373

© МАДИ, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Началу строительства любого объекта предшествует специальная подготовка, призванная создать условия для успешной реализации строительного проекта. Важным элементом подготовки строительного производства является разработка календарного плана строительства. Календарные планы разрабатываются в составе проектов организации строительства и проектов производства работ. Цель календарного планирования заключается в нахождении такого варианта организации строительных работ, который позволит обеспечить эффективное использование ресурсов и завершить работы в заданные сроки.

Основным вопросом, решаемым в процессе разработки календарного плана, является увязка строительных работ во времени и пространстве, т.е. определение сроков выполнения каждого вида работ на каждом фронте работ. Расчетно-графическая работа по дисциплине «Основы организации и управления в строительстве» призвана познакомить студентов с методами, используемыми для решения этой задачи.

Правила увязки работ во времени и пространстве зависят от метода организации работ. В расчетно-графической работе рассматриваются поточные методы организации работ, получившие большое распространение.

В качестве исходных данных студенты получают информацию о видах и объемах работ, которые нужно выполнить на участке автомобильной дороги, и о сменной выработке специализированных отрядов строительного потока, созданного для производства этих работ. На основании этих данных студенты должны: 1) рассчитать продолжительность выполнения всех видов работ на каждом километре дороги; 2) выбрать оптимальное направление движения строительного потока по участку дороги; 3) определить сроки начала и окончания каждого вида работ на каждом километре дороги в случае организации работ с: а) непрерывным использованием ресурсов; б) минимальной продолжительностью строительства; 4) построить календарный график работ.

1. ПОТОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПОТОКИ

1.1. Поточные методы организации работ

Поточные методы организации работ получили большое распространение во всех областях строительства. Они обеспечивают равномерное выполнение работ, эффективное использование трудовых и материально-технических ресурсов, удовлетворительные сроки строительства.

Характерной особенностью поточных методов является создание специализированных отрядов для производства разных видов работ, т.е. специализация ресурсов. Также обязательным является совмещение разнотипных работ, т.е. одновременное выполнение разных видов работ на общем фронте. Для этого общий фронт работ разбивается на частные фронты. На каждом частном фронте в любой момент времени может работать не более одного специализированного отряда.

Совокупность специализированных отрядов, оснащенных всеми необходимыми ресурсами для создания готовой строительной продукции поточным методом, называется **строительным потоком**.

Поточные методы организации строительства отличаются друг от друга правилами увязки во времени и пространстве работ, выполняемых строительным потоком. В рамках расчетно-графической работы (РГР) рассматриваются два наиболее распространенных метода: с критическим путем и с непрерывным использованием ресурсов.

При организации работы строительного потока с критическим путем для увязки работ используют следующее правило: i -я работа на j -м частном фронте начинает выполняться сразу после того, как освободятся i -й специализированный отряд и j -й частный фронт.

При организации работы строительного потока с непрерывным использованием ресурсов i -ю в работу на 1-м частном фронте не начинают даже при наличии свободных i -го отряда и 1-го частного фронта, если у i -го отряда нет возможности выполнить свою работу на общем фронте без простоев. Простои могут возникать при переходе отряда с одного частного фронта на другой, если идущий впереди отряд работает медленнее.

Правила взаимной увязки работ, используемые при организации работы строительного потока, влияют на сроки выполнения этих работ. Определение сроков выполнения (начала и окончания) строительных работ на всех частных фронтах называется расчетом потока. Порядок расчета потока при организации работ с непрерывным использованием ресурсов рассматривается в разделе 2, при организации работ с критическим путем – в разделе 3.

1.2. Временные параметры строительного потока

К основным временным параметрам строительного потока относятся: ритмы выполнения работ, период развертывания потока, период установившегося потока, период выпуска готовой продукции, период свертывания потока, продолжительность действия потока.

Ритм T_{ij} – это продолжительность выполнения i -й работы на j -м частном фронте. Ритм можно определить по формуле

$$T_{ij} = Q_{ij} / \Pi_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m,$$

где Q_{ij} – объем работ i -го вида на j -м частном фронте; Π_i – производительность специализированного отряда, выполняющего i -й вид работ; n – число видов работ; m – число частных фронтов работ.

В зависимости от соотношения ритмов отдельных видов работ, выполняемых строительным потоком, различают равноритмичные, разноритмичные и неритмичные потоки.

Равноритмичный поток имеет одинаковые ритмы всех работ на всех частных фронтах: $T_{ij} = T, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$.

В разноритмичном потоке каждый вид работ на всех частных фронтах выполняется за одно и то же время, но ритмы разных видов работ не совпадают: $T_{1j} = T_1, T_{2j} = T_2, \dots, T_{nj} = T_n, j = 1, \dots, m$.

Неритмичный поток имеет разные ритмы некоторых или всех работ на некоторых или на всех частных фронтах.

Ритмы выполнения работ используются в качестве исходных данных для расчета строительного потока. Остальные временные параметры рассчитываются после определения сроков выполнения работ.

Прежде чем привести определения и формулы для расчета остальных временных параметров, введем следующие обозначения: T_{ij}^H – время начала работы i -го специализированного отряда на j -м ча-

стном фронте; T_{ij}^o – время окончания работы i -го специализированного отряда на j -м частном фронте. Отметим, что при поточной организации работ, когда для производства каждого вида работ создается специализированный отряд, величина T_{ij}^H (T_{ij}^o) совпадает со временем начала (окончания) i -й работы на j -м частном фронте.

Период развертывания потока T_p – время, которое проходит с момента начала работы первого специализированного отряда до начала работы последнего отряда потока:

$$T_p = T_{n1}^H - T_{11}^H. \quad (1.2)$$

Период установившегося потока T_y характеризует продолжительность одновременной работы всех отрядов потока:

$$T_y = \begin{cases} 0, & \text{если } T_{1m}^o \leq T_{n1}^H; \\ T_{1m}^o - T_{n1}^H, & \text{если } T_{1m}^o > T_{n1}^H. \end{cases} \quad (1.3)$$

Период выпуска готовой продукции T_b равен продолжительности работы последнего отряда потока:

$$T_b = T_{nm}^o - T_{n1}^H. \quad (1.4)$$

Период свертывания потока T_c – время, которое проходит с момента завершения работы первого отряда до завершения работы последнего отряда потока:

$$T_c = T_{nm}^o - T_{1m}^o. \quad (1.5)$$

Продолжительность действия потока T_d – время от момента начала работы первого отряда до завершения работы последнего отряда потока:

$$T_d = T_{nm}^o - T_{11}^H. \quad (1.6)$$

1.3. Выбор направления движения строительного потока

При расчете строительного потока помимо сроков выполнения работ может определяться оптимальное направление движения потока по общему фронту работ. Это следует делать в тех случаях, когда объемы работ распределены по общему фронту неравномерно, а поток может двигаться по нему как в прямом, так и в обратном направлении.

Для определения направления движения потока при организации работ с непрерывным использованием ресурсов расчет потока производят дважды: для прямого (начиная с первого и заканчивая последним частным фронтом) и обратного направления движения. Лучшим является вариант с минимальной продолжительностью действия потока T_d .

Направление движения потока при организации работ с критическим путем можно определить аналогично, однако существует и более простой способ. Он предусматривает выполнение следующих действий.

1. Строится таблица (n строк, m столбцов), в которой указываются ритмы всех работ на всех частных фронтах (табл.).

2. Для всех строк и столбцов таблицы подсчитываются суммы ритмов:

$$T_i = \sum_{j=1}^m T_{ij}, i = 1, \dots, n; T_j = \sum_{i=1}^n T_{ij}, j = 1, \dots, m, \quad (1.7)$$

где T_i – сумма ритмов по i -й строке таблицы; T_j – сумма ритмов по j -му столбцу таблицы.

3. Находится строка (столбец) с наибольшей суммой ритмов: $\max(T_i, T_j)$.

4. В таблице строятся прямая и обратная цепи. Прямая цепь выходит из клетки 1, 1 таблицы, проходит по строке (столбцу) с максимальной суммой ритмов и заканчивается в клетке n, m . Обратная цепь выходит из клетки 1, m таблицы, проходит по строке (столбцу) с максимальной суммой ритмов и заканчивается в клетке $n, 1$.

5. Определяется сумма ритмов, записанных в тех клетках таблицы, через которые проходит каждая из цепей. Если минимальная сумма ритмов соответствует прямой цепи, то лучшим является прямое направление движения потока, и наоборот.

Пример. Определить оптимальное направление движения потока при организации работ с критическим путем. Данные о ритмах работ, выполняемых потоком, приведены в таблице.

Наибольшую сумму ритмов имеет 3-я строка таблицы. Исходя из этого, строим прямую и обратную цепи. Сумма ритмов прямой цепи равна $8 + 2 + 57 + 7 + 4 = 78$. Сумма ритмов обратной цепи равна $7 + 1 + 57 +$

+ 7 + 4 = 76. Следовательно, лучшим является обратное направление движения потока (начиная с 4-го и заканчивая 1-м частным фронтом).

Таблица

Вид работ (<i>i</i>)	Частный фронт (<i>j</i>)				T_i
	1	2	3	4	
1	8	7	6	7	28
2	2	3	2	1	8
3	12	15	16	14	57
4	7	7	7	7	28
5	4	4	4	4	16
T_j	33	36	35	33	–

2. РАСЧЕТ ПОТОКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ С НЕПРЕРЫВНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕСУРСОВ

Данный метод организации работ позволяет избежать простоев специализированных отрядов потока, однако срок строительства при этом увеличивается. Его целесообразно использовать в тех случаях, когда простои ресурсов недопустимы или связаны со значительными издержками, например, при планировании работы больших отрядов дорогостоящих машин.

Результаты расчета потока при организации работ с непрерывным использованием ресурсов графически изображаются в виде ленточного календарного графика или циклограммы.

Ленточный календарный график строится в координатах «работа–время» в виде прямых горизонтальных линий, характеризующих развитие работ во времени. Существенным недостатком ленточного графика является отсутствие привязки работ к частным фронтам.

Этого недостатка лишена циклограмма, которая строится в координатах «частный фронт–время» в виде наклонных прямых или ломаных линий, характеризующих развитие работ в пространстве и времени.

Порядок расчета строительного потока, организованного с непрерывным использованием ресурсов, зависит от соотношения ритмов выполняемых им работ. Ниже рассматривается порядок определения сроков выполнения работ неритмичными, разноритмичными и равноритмичными потоками.

2.1. Расчет неритмичного потока

Расчет неритмичного потока производят в матричной форме. Предварительно строят матрицу, по строкам которой располагают виды работ, а по столбцам – частные фронты работ (рис. 2.1). В каждой клетке i, j матрицы посередине внизу указывают соответствующий ритм T_{ij} .

По мере выполнения расчетов в левом и правом верхнем углу каждой клетки i, j проставляют соответственно срок начала и окончания i -й работы на j -м частном фронте. Расчет матрицы ведут по строкам, начиная с первой и заканчивая последней строкой. При этом выполняют алгоритм:

1. Определяют расчетные сроки выполнения 1-й работы на всех частных фронтах, начиная с первого.

Расчетное начало 1-й работы на 1-м частном фронте приравнивают нулю: $T_{11}^H = 0$. Соответствующее расчетное окончание находят как сумму расчетного начала и продолжительности выполнения 1-й работы на 1-м частном фронте: $T_{11}^O = T_{11}^H + T_{11}$.

Расчетное начало и окончание 1-й работы на остальных частных фронтах определяют по формулам:

$$T_{1j}^H = T_{1j-1}^O, \quad T_{1j}^O = T_{1j}^H + T_{1j}, \quad j = 2, \dots, m. \quad (2.1)$$

2. Определяют возможные сроки выполнения i -й работы ($i = 2, \dots, n$) на всех частных фронтах, начиная с первого.

Время возможного начала i -й работы на 1-м частном фронте приравнивают времени расчетного окончания предыдущей работы на этом фронте: $T_{i1}^{BH} = T_{i-1,1}^O$. Соответствующее возможное окончание находят как сумму возможного начала и продолжительности выполнения i -й работы на 1-м частном фронте: $T_{i1}^{BO} = T_{i1}^{BH} + T_{i1}$.

Возможное начало и окончание i -й работы на остальных частных фронтах определяют по формулам:

$$T_{ij}^{BH} = \max(T_{i-1,j}^O; T_{ij-1}^{BO}), \quad T_{ij}^{BO} = T_{ij}^{BH} + T_{ij}, \quad j = 2, \dots, m. \quad (2.2)$$

Если рассчитанные таким образом возможные сроки обеспечивают непрерывную работу i -го специализированного отряда, т.е. $T_{ij}^{BO} = T_{ij+1}^{BH}$ для всех j , то эти сроки принимают в качестве расчетных и переходят к рассмотрению следующего вида работ.

Если имеют место простои i -го отряда при переходе с одного частного фронта на другой, то выполняют действия, предусмотренные п. 3.

3. Определяют расчетные сроки выполнения i -й работы на всех частных фронтах (начиная с последнего и заканчивая первым). В клетках, где расчетные сроки не совпадают с определенными ранее возможными сроками, возможные сроки зачеркивают и под ними записывают соответствующие расчетные сроки.

Расчетное окончание i -й работы на последнем частном фронте приравнивают возможному окончанию этой работы на данном фронте: $T_{im}^o = T_{im}^{Bo}$. Соответствующее расчетное начало находят как разность расчетного окончания и продолжительности выполнения i -й работы на m -м частном фронте: $T_{im}^H = T_{im}^o - T_{im}$.

Расчетное начало и окончание i -й работы на остальных частных фронтах определяют по формулам:

$$T_{ij}^o = T_{ij+1}^H, \quad T_{ij}^H = T_{ij}^o - T_{ij}, \quad j = m - 1, \dots, 1. \quad (2.3)$$

Определив расчетные сроки выполнения i -й работы, переходят к рассмотрению следующей строки матрицы и к п. 2 алгоритма.

Если на некоторых частных фронтах какие-то виды работ не выполняются, то в соответствующих клетках матрицы ставят прочерки, а при расчетах вместо них используют ближайшую заполненную клетку i -й строки (если пустая клетка находится слева от клетки i, j , для которой производится расчет сроков) или j -го столбца (если пустая клетка располагается над клеткой i, j).

Пример 2.1. На участке дороги, разбитом на 4 частных фронта, нужно выполнить 4 вида работ. Данные о продолжительности выполнения этих работ на каждом частном фронте приведены в табл. 2.1. Требуется рассчитать сроки начала и окончания всех работ.

Таблица 2.1

Продолжительность выполнения работ (в сменах)

Виды работ (i)	Частные фронты (j)			
	1	2	3	4
1	4	11	10	9
2	5	4	2	2
3	2	2	2	2
4	10	8	–	10

Определим сроки выполнения 1-го вида работ:

$$\begin{aligned} T_{11}^H &= 0; & T_{11}^O &= T_{11}^H + T_{11} = 0 + 4 = 4; \\ T_{12}^H &= T_{11}^O = 4; & T_{12}^O &= T_{12}^H + T_{12} = 4 + 11 = 15; \\ T_{13}^H &= T_{12}^O = 15; & T_{13}^O &= T_{13}^H + T_{13} = 15 + 10 = 25; \\ T_{14}^H &= T_{13}^O = 25; & T_{14}^O &= T_{14}^H + T_{14} = 25 + 9 = 34. \end{aligned}$$

Найдем возможные сроки выполнения 2-го вида работ:

$$\begin{aligned} T_{21}^{BH} &= T_{11}^O = 4; & T_{21}^{BO} &= T_{21}^{BH} + T_{21} = 4 + 5 = 9; \\ T_{22}^{BH} &= \max(T_{12}^O; T_{21}^{BO}) = \max(15; 9) = 15; & T_{22}^{BO} &= T_{22}^{BH} + T_{22} = 15 + 4 = 19; \\ T_{23}^{BH} &= \max(T_{13}^O; T_{22}^{BO}) = \max(25; 19) = 25; & T_{23}^{BO} &= T_{23}^{BH} + T_{23} = 25 + 2 = 27; \\ T_{24}^{BH} &= \max(T_{14}^O; T_{23}^{BO}) = \max(34; 27) = 34; & T_{24}^{BO} &= T_{24}^{BH} + T_{24} = 34 + 2 = 36. \end{aligned}$$

Поскольку имеют место простои 2-го отряда ($T_{21}^{BO} \neq T_{22}^{BH}$; $T_{22}^{BO} \neq T_{23}^{BH}$; $T_{23}^{BO} \neq T_{24}^{BH}$), определяем расчетные сроки выполнения 2-го вида работ, отталкиваясь от момента завершения работы 2-го отряда на общем фронте:

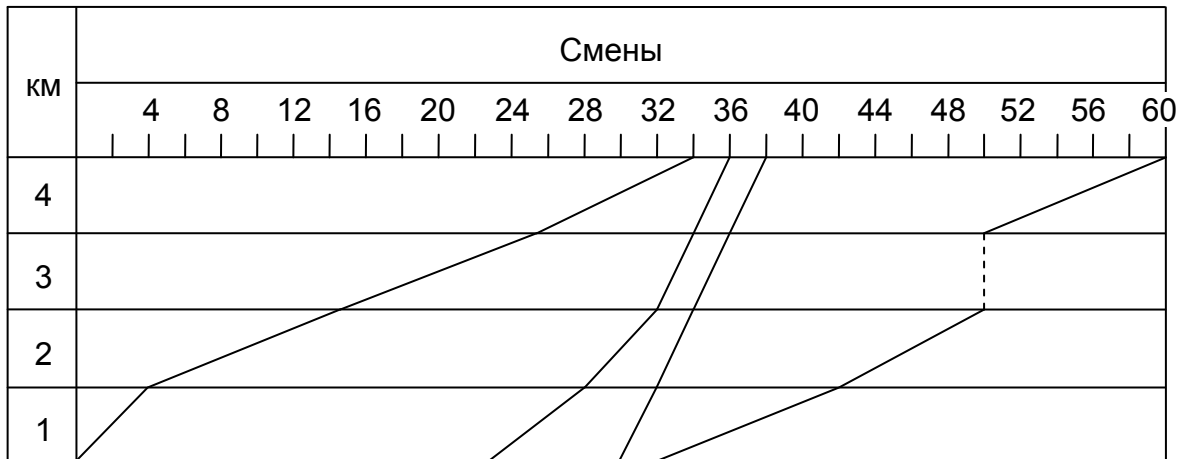
$$\begin{aligned} T_{24}^O &= T_{24}^{BO} = 36; & T_{24}^H &= T_{24}^O - T_{24} = 36 - 2 = 34; \\ T_{23}^O &= T_{24}^H = 34; & T_{23}^H &= T_{23}^O - T_{23} = 34 - 2 = 32; \\ T_{22}^O &= T_{23}^H = 32; & T_{22}^H &= T_{22}^O - T_{22} = 32 - 4 = 28; \\ T_{21}^O &= T_{22}^H = 28; & T_{21}^H &= T_{21}^O - T_{21} = 28 - 5 = 23. \end{aligned}$$

Сроки выполнения остальных видов работ рассчитываются аналогично. Все расчеты выполняются в матрице, окончательный вид которой представлен на рис. 2.1. Циклограмма и ленточный календарный график этого строительного потока показаны на рис. 2.2.

Вид работ	Захватки							
	1		2		3		4	
1	0	4	4	15	15	25	25	34
		4		11		10		9
2	4	9	15	19	25	27	34	36
	23	28	28	32	32	34		
		5		4		2		2
3	28	30	32	34	34	36	36	38
	30	32						
		2		2		2		2
4	32	42	42	50			50	60
		10		8		-		10

Рис. 2.1. Матрица для расчета неритмичного потока

а)



б)

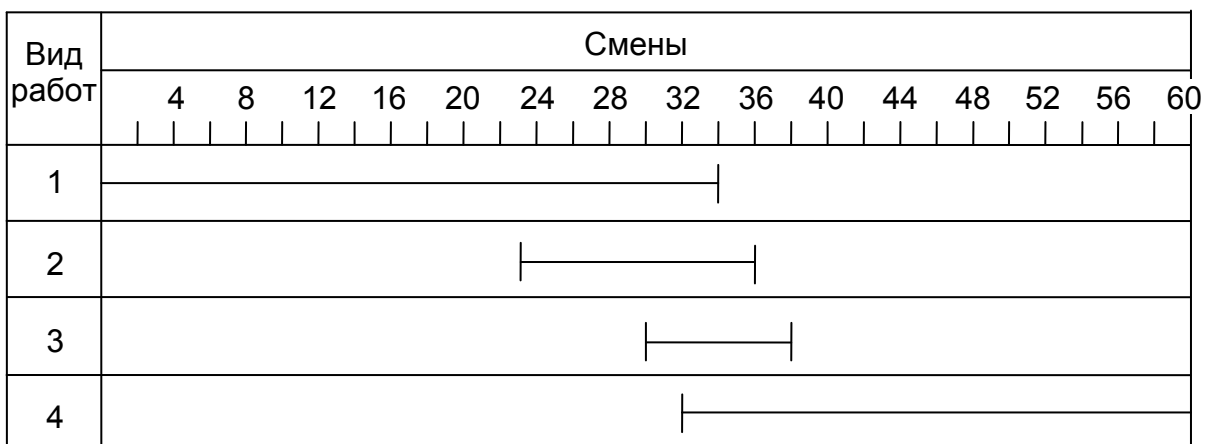


Рис. 2.2. Циклограмма (а) и ленточный календарный график (б) неритмичного потока

Рассмотренный алгоритм позволяет рассчитать строительный поток любого вида. Однако равномерные и неравномерные потоки можно рассчитать и более просто, без построения матрицы.

В случае равно- и неравномерных потоков нет необходимости определять сроки начала и окончания i -й работы на каждом частном фронте. Работа отрядов таких потоков изображается на циклограмме в виде наклонных прямых линий, для построения каждой из которых достаточно рассчитать две величины: момент начала i -й работы на 1-м частном фронте и момент ее окончания на последнем частном фронте. Порядок расчета этих величин излагается ниже.

2.2. Расчет неравномерного потока

Момент начала 1-й работы на 1-м частном приравнивают нулю:

$$T_{11}^H = 0.$$

При определении момента начала i -й работы ($i = 2, \dots, n$) на 1-м частном фронте исходят из соотношения ритмов i -й и $i-1$ -й работ (T_i и T_{i-1}):

$$T_{i-1}^H = \begin{cases} T_{i-1m}^o - (m-1) \cdot T_i, & \text{если } T_i < T_{i-1}; \\ T_{i-11}^H + T_{i-1}, & \text{если } T_i \geq T_{i-1}. \end{cases} \quad (2.4)$$

Момент окончания i -й работы ($i = 1, \dots, n$) на последнем частном фронте находят по формуле

$$T_{im}^o = T_{11}^H + m \cdot T_i. \quad (2.5)$$

Пример 2.2. Участок дороги разбит на 4 захватки, на каждой из которых нужно выполнить 3 вида работ, ритмы которых составляют 3, 4 и 2 смены ($T_1 = 3$, $T_2 = 4$, $T_3 = 2$).

Определим сроки выполнения этих работ:

$$\begin{aligned} T_{11}^H &= 0; & T_{14}^o &= T_{11}^H + 4 \cdot T_1 = 0 + 4 \cdot 3 = 12; \\ T_{21}^H &= T_{11}^H + T_1 = 0 + 3 = 3, \text{ так как } T_2 > T_1; & T_{24}^o &= T_{21}^H + 4 \cdot T_2 = 3 + 4 \cdot 4 = 19; \\ T_{31}^H &= T_{24}^o - (4-1) \cdot T_3 = 19 - 3 \cdot 2 = 13, & T_{34}^o &= T_{31}^H + 4 \cdot T_3 = 13 + 4 \cdot 2 = 21. \end{aligned}$$

так как $T_3 < T_2$;

Циклограмма данного потока приведена на рис. 2.3.

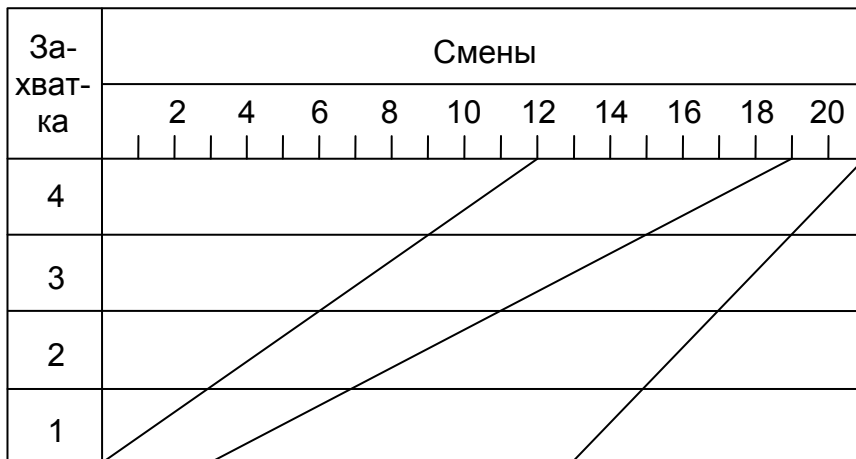


Рис. 2.3. Циклограмма разноритмического потока

В некоторых случаях разноритмичный поток удается преобразовать в кратноритмичный, что позволяет сократить продолжительность действия потока. Организация кратноритмичного потока возможна в том случае, когда ритмы отдельных работ являются кратными друг другу и, кроме того, имеется возможность создать дополнительные отряды для выполнения работ, ритмы которых превышают ведущий ритм потока.

При организации кратноритмичного потока выполняют следующие действия.

1. Наименьший из ритмов работ, выполняемых потоком, принимают в качестве ведущего ритма: $T_{\text{вед}} = \min T_i, i = 1, \dots, n$.

2. Определяют значения кратности (k_i) ритмов работ ведущему ритму: $k_i = T_i/T_{\text{вед}}, i = 1, \dots, n$.

3. Для выполнения i -й работы создают k_i специализированных отрядов.

В результате продолжительность действия потока T_d сокращается до величины $(m + k_1 + \dots + k_n - 1)T_{\text{вед}}$.

Пример 2.3. На участке автомобильной дороги, разбитом на 4 частных фронта, нужно выполнить 3 вида работ, ритмы которых равны 3, 6 и 3 сменам ($T_1 = 3, T_2 = 6, T_3 = 3$).

В этом случае можно организовать кратноритмичный поток с ведущим ритмом $T_{\text{вед}} = 3$ смены. Для выполнения 1-го вида работ требуется один отряд, 2-го – два отряда (2а и 2б), 3-го – один отряд (так как $k_1 = 1, k_2 = 2, k_3 = 1$).

Определим сроки выполнения 1-го вида работ:

$$T_{11}^H = 0; \quad T_{14}^O = T_{11}^H + 4 \cdot T_1 = 0 + 4 \cdot 3 = 12.$$

Определим сроки выполнения 2-го вида работ. Отряд 2а выполняет 2-ю работу на 1-м частном фронте:

$$T_{21}^H = T_{11}^O = T_{11}^H + T_1 = 0 + 3 = 3; \quad T_{21}^O = T_{21}^H + T_2 = 3 + 6 = 9.$$

Отряд 2б выполняет 2-ю работу на 2-м частном фронте:

$$T_{22}^H = T_{12}^O = T_{11}^H + 2 \cdot T_1 = 0 + 6 = 6; \quad T_{22}^O = T_{22}^H + T_2 = 6 + 6 = 12.$$

Завершив работу на 1-м частном фронте, отряд 2а переходит на 3-й:

$$T_{23}^H = \max(T_{13}^O; T_{21}^O) = \max(9; 9) = 9; \quad T_{23}^O = T_{23}^H + T_2 = 9 + 6 = 15.$$

Завершив работу на 2-м частном фронте, отряд 2б переходит на 4-й:

$$T_{24}^H = \max(T_{14}^O; T_{22}^O) = \max(12; 12) = 12; \quad T_{24}^O = T_{24}^H + T_2 = 12 + 6 = 18.$$

Определим сроки выполнения 3-го вида работ:

$$T_{31}^H = T_{21}^O = 9; \quad T_{34}^O = T_{31}^H + 4 \cdot T_3 = 9 + 4 \cdot 3 = 21.$$

Таким образом, в результате организации кратноритмичного потока продолжительность действия потока составит 21 смену. Если же 2-й вид работ будет выполняться одним отрядом, то величина T_d будет равна 30 сменам.

Циклограмма данного потока приведена на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Циклограмма кратноритмичного потока

2.3. Расчет равноритмичного потока

Равноритмичный поток характеризуется минимальной продолжительностью действия, однако в реальных условиях организовать такой поток удается довольно редко. Расчет равноритмичного потока весьма прост.

Момент начала i -й работы на 1-м частном фронте можно определить по формуле

$$T_{i1}^H = (i - 1) \cdot T, \quad i = 1, \dots, n, \quad (2.6)$$

где T – ритм равноритмичного потока.

Момент окончания i -й работы на последнем частном фронте определяют по формуле

$$T_{im}^O = T_{i1}^H + m \cdot T. \quad (2.7)$$

На циклограмме работа отрядов равноритмичного потока изображается в виде параллельных прямых линий.

Пример 2.4. На участке дороги, разбитом на 4 захватки, нужно выполнить 4 вида работ, ритмы которых равны 2-м дням ($T = 2$). Определим сроки выполнения этих работ по формулам (2.6)...(2.7):

$$\begin{aligned} T_{11}^H &= (1 - 1) \cdot 2 = 0; & T_{14}^O &= T_{11}^H + 4 \cdot T = 0 + 4 \cdot 2 = 8; \\ T_{21}^H &= (2 - 1) \cdot 2 = 2; & T_{24}^O &= T_{21}^H + 4 \cdot T = 2 + 4 \cdot 2 = 10; \\ T_{31}^H &= (3 - 1) \cdot 2 = 4; & T_{34}^O &= T_{31}^H + 4 \cdot T = 4 + 4 \cdot 2 = 12; \\ T_{41}^H &= (4 - 1) \cdot 2 = 6; & T_{44}^O &= T_{41}^H + 4 \cdot T = 6 + 4 \cdot 2 = 14. \end{aligned}$$

Циклограмма данного потока представлена на рис. 2.5.

Захватки	Рабочие дни													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4														
3														
2														
1														

Рис. 2.5. Циклограмма равноритмичного потока

3. РАСЧЕТ ПОТОКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ С КРИТИЧЕСКИМ ПУТЕМ

При организации работ с критическим путем, выявленным при учете ресурсных и фронтальных связей, достигается наименьший срок строительства, однако могут иметь место простои как специализированных отрядов, так и фронтов работ. Расчет потока при такой организации работ позволяет получить весьма ценную информацию о напряженности строительных работ, выполняемых потоком, поскольку в результате расчета все работы делятся на критические (напряженные) и некритические.

Задержка в выполнении любой критической работы вызывает соответствующее увеличение общей продолжительности строительства, поэтому в процессе реализации строительного проекта критическим работам необходимо уделять особое внимание. Сроки выполнения некритических работ, напротив, можно изменять в определенном интервале, границы которого также определяются в результате расчета.

Для расчета потока при организации работ с критическим путем строят специальную графическую модель – сетевой график. Сетевой график позволяет отразить технологические, организационные и логические взаимосвязи рассматриваемого комплекса работ. Основными элементами сетевого графика являются работы и события.

Различают действительные и фиктивные работы. Действительная работа – это любой трудовой процесс, требующий для своего выполнения затрат времени и ресурсов. Фиктивные работы используют для отражения взаимосвязей между действительными работами. Они

не требуют затрат времени и ресурсов. Действительные работы изображаются на сетевом графике сплошными стрелками, фиктивные – штриховыми.

События символизируют момент начала или окончания одной или нескольких работ. На сетевом графике событие изображается в виде кружка, в котором проставляется его порядковый номер. Каждую работу кодируют номерами двух ограничивающих ее событий ($i - j$). Событие, в которое не входит ни одна работа, называется **исходным**. Событие, из которого не выходит ни одна работа, называется **завершающим**.

Любая непрерывная последовательность работ в направлении стрелок называется путем. Длина пути определяется продолжительностью составляющих его работ. Путь, соединяющий исходное событие с завершающим и имеющий наибольшую длину, называется критическим. Длина критического пути определяет продолжительность выполнения всего комплекса работ.

Чтобы рассчитать поток при организации работ с критическим путем, необходимо выполнить следующие действия:

- 1) построить сетевой график рассматриваемого комплекса работ;
- 2) рассчитать временные параметры сетевого графика;
- 3) построить календарный график, устанавливающий сроки выполнения всех работ.

Порядок выполнения этих действий рассматривается в п. 3.1–3.4.

3.1. Правила построения сетевого графика

Перед построением сетевого графика комплекса работ необходимо установить для каждой работы комплекса, какие работы ей непосредственно предшествуют и какие работы могут быть начаты сразу после ее завершения.

Сетевой график строится слева направо в порядке выполнения работ комплекса. При этом следует придерживаться ряда общих правил.

1. В каждое событие должно входить и выходить из него не менее одной работы. Недопустимы события, в которые не входит ни одна работа (за исключением исходного), и события, из которых не выходит ни одна работа (за исключением завершающего). На сетевом графике должно быть только одно исходное и одно завершающее событие. Нумерация событий осуществляется после построения сетево-

го графика. События нумеруются последовательно слева направо, при этом номер последующего события (j) должен быть больше номера предшествующего события (i).

2. Действительные работы не обязательно должны изображаться в виде прямолинейных стрелок. Не требуется, чтобы длина стрелки была пропорциональна продолжительности соответствующей работы. Пересечение стрелок нежелательно, но допустимо в тех случаях, когда его невозможно избежать.

3. Фиктивные работы используются для: а) изображения параллельно выполняемых работ; б) отображения таких взаимосвязей между работами, которые не могут быть заданы с помощью только действительных работ.

Если две работы c и d могут выполняться параллельно, то следует ввести дополнительное событие и фиктивную работу, чтобы избежать появления на сетевом графике работ с одинаковым кодом (рис. 3.1).

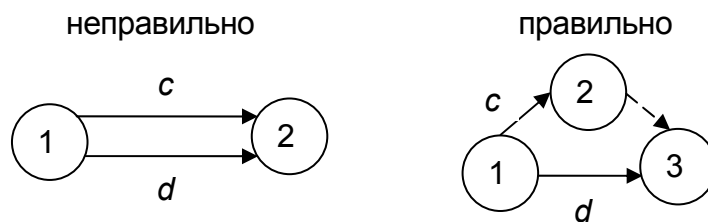


Рис. 3.1. Изображение параллельно выполняемых работ на сетевом графике

Ошибка в отображении взаимосвязей между поточно выполняемыми работами, которую часто допускают студенты, показана на рис. 3.2а. Здесь начало работы по устройству подстилающего слоя на 3-м км дороги (событие 4) зависит не только от окончания этой работы на 2-м км, но также и от окончания работы по устройству основания на 1-м км (событие 3), а начало работы по устройству основания на 3-м км (событие 6) – также и от окончания работы по устройству покрытия на 1-м км (событие 5), что неверно. Чтобы правильно отобразить технологические и организационные связи между работами, следует ввести дополнительные события и фиктивные работы, как это показано на рис. 3.2б.

Если имеется несколько отличающихся друг от друга сетевых графиков, на которых изображена одна и та же совокупность работ и

правильно отображены взаимосвязи между ними, то лучшим среди них можно считать график с наименьшим количеством фиктивных работ, событий и пересечений работ.

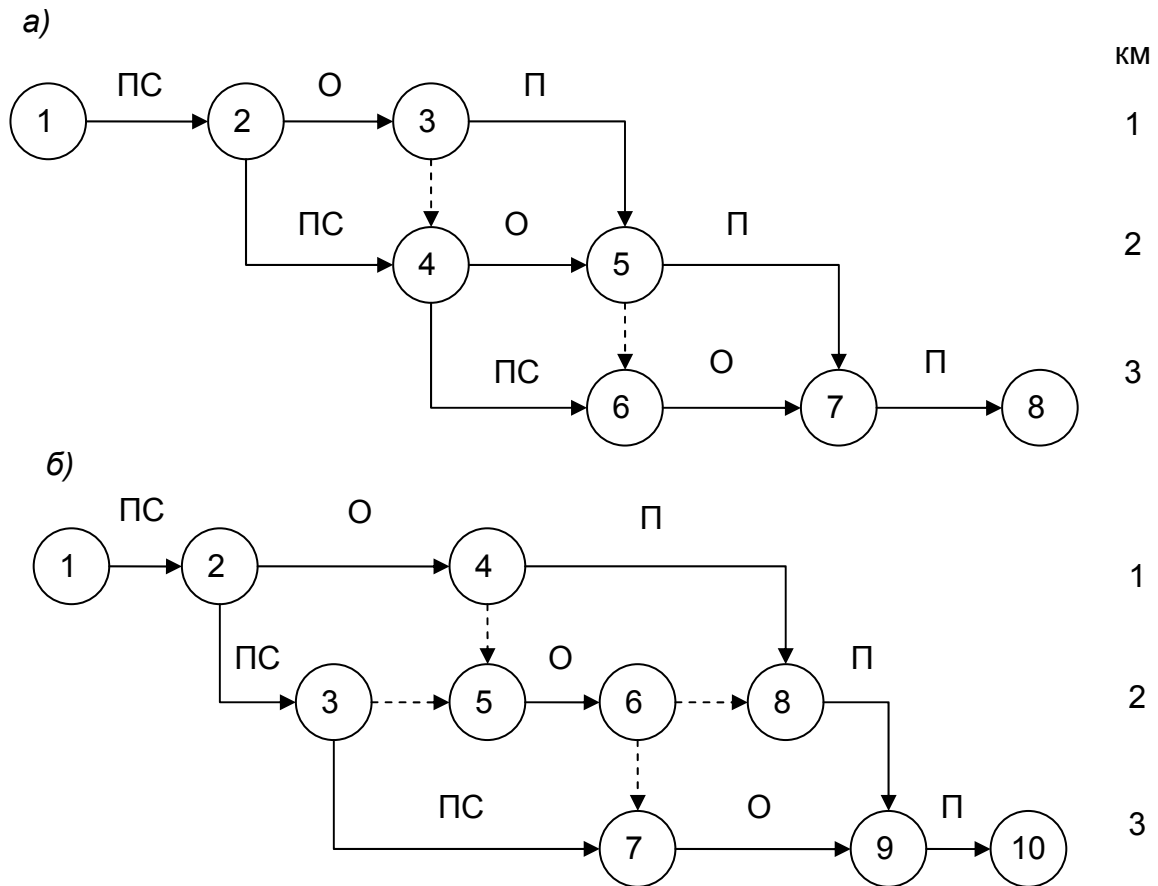


Рис. 3.2. Сетевой график поточного выполнения 3-х видов работ (устройство подстилающего слоя (ПС), основания (О) и покрытия (П)): а – неправильно; б – правильно

3.2. Временные параметры сетевого графика

При расчете сетевого графика определяют следующие временные параметры: ранние и поздние начала и окончания работ, длину критического пути, общие и частные резервы времени не критических работ.

Раннее начало работы t_{ij}^{PH} – срок, ранее которого работа не может быть начата из-за отсутствия ресурсов (соответствующего специализированного отряда) или фронта работ. Работы, выходящие из одного события, имеют одинаковое раннее начало. Раннее начало работ, выходящих из исходного события, приравнивают нулю.

Раннее окончание работы t_{ij}^{po} – срок окончания работы в случае, если она была начата в ранний срок.

Позднее начало работы t_{ij}^{no} – срок, не позже которого работа должна быть начата, чтобы не увеличилась общая продолжительность строительства.

Позднее окончание работы t_{ij}^{pn} – срок окончания работы в случае, если она была начата в поздний срок. Работы, входящие в одно и то же событие, имеют одинаковое позднее окончание.

Общий резерв времени работы R_{ij} – время, на которое можно перенести момент начала работы или увеличить ее продолжительность без изменения длины критического пути.

Частный резерв времени работы r_{ij} – время, на которое можно перенести момент начала работы или увеличить ее продолжительность без изменения раннего начала следующих непосредственно за ней работ.

Величины общего и частного резервов времени любой работы $i-j$ должны удовлетворять условию $R_{ij} \geq r_{ij}$. Отсюда следует, что если $R_{ij} = 0$, то и $r_{ij} = 0$ (обратное неверно).

Если общий резерв времени работы равен нулю, то работа является критической.

До начала расчета параметров сетевого графика необходимо оценить продолжительность выполнения всех действительных работ. Существует два подхода к определению продолжительности работ.

1. Продолжительности выполнения всех работ считаются достоверно известными величинами и характеризуются детерминированными оценками t_{ij} . В этом случае сетевой график называется **детерминированным**. Порядок расчета детерминированных сетевых графиков рассматривается в п. 3.3.

2. Продолжительности выполнения всех работ считаются случайными величинами и характеризуются их математическими ожиданиями \bar{t}_{ij} . В этом случае сетевой график называется **вероятностным**. Вопросы, связанные с расчетом вероятностных сетевых графиков, рассматриваются в п. 3.5.

3.3. Методы расчета временных параметров сетевого графика

Существуют различные методы расчета параметров сетевого графика. Ниже рассматриваются три метода: табличный, четырехсекторный, потенциалов.

3.3.1. Табличный метод

Табличный метод предусматривает проведение расчетов в таблице из девяти граф (табл. 3.1). При этом выполняют следующие действия.

1. Заполняют графы 1 и 2. В гр. 1 записывают коды работ (включая фиктивные работы, если такие имеются) в порядке их возрастания. В гр. 2 указывают продолжительности работ.

2. Рассчитывают ранние сроки выполнения работ и заносят их в графы 3 и 4 (в направлении сверху вниз). Если работе $i-j$ предшествует одна работа $h-i$, то ее раннее начало приравнивают раннему окончанию работы $h-i$:

$$t_{ij}^{PH} = t_{hi}^{PO}. \quad (3.1)$$

Если работе $i-j$ предшествует более одной работы, то ее раннее начало приравнивают максимальному из ранних окончаний предшествующих работ:

$$t_{ij}^{PH} = \max t_{hi}^{PO}. \quad (3.2)$$

Раннее окончание работы $i-j$ находят как сумму ее раннего начала и продолжительности:

$$t_{ij}^{PO} = t_{ij}^{PH} + t_{ij}. \quad (3.3)$$

Максимальное из ранних окончаний работ, входящих в завершающее событие (n), определяет длину критического пути:

$$t_{кр} = \max t_{in}^{PO}. \quad (3.4)$$

3. Рассчитывают поздние сроки выполнения работ и заносят их в графы 5 и 6 (в направлении снизу вверх). Поздние окончания работ, входящих в завершающее событие, приравнивают длине критического пути:

$$t_{in}^{NO} = t_{кр} \text{ для всех } i. \quad (3.5)$$

Для остальных работ поздние окончания определяют следующим образом. Если за работой $i-j$ следует только одна работа $j-k$, то ее позднее окончание приравнивают позднему началу работы $j-k$:

$$t_{ij}^{по} = t_{jk}^{пн}. \quad (3.6)$$

Если за работой $i-j$ следует более одной работы, то ее позднее окончание приравнивают минимальному из поздних начал последующих работ:

$$t_{ij}^{по} = \min t_{jk}^{пн}. \quad (3.7)$$

Позднее начало работы $i-j$ находят как разность ее позднего окончания и продолжительности:

$$t_{ij}^{пн} = t_{ij}^{по} - t_{ij}. \quad (3.8)$$

4. Определяют резервы времени работ и заносят их в графы 7 и 8. Общий резерв времени работы $i-j$ находят как разность позднего и раннего начал или позднего и раннего окончаний этой работы:

$$R_{ij} = t_{ij}^{пн} - t_{ij}^{рн} = t_{ij}^{по} - t_{ij}^{ро}. \quad (3.9)$$

Частный резерв времени работы $i-j$ определяют как разность раннего начала последующей работы $j-k$ и раннего окончания работы $i-j$:

$$r_{ij} = t_{jk}^{рн} - t_{ij}^{ро}. \quad (3.10)$$

Частные резервы времени работ, входящих в завершающее событие n , приравнивают разности длины критического пути и раннего окончания этих работ:

$$r_{in} = t_{кр} - t_{in}^{ро} \text{ для всех } i. \quad (3.11)$$

5. Ориентируясь на величину R_{ij} , определяют критические работы и заполняют графу 9 табл. 3.1.

Пример 3.1. Рассчитаем табличным методом временные параметры сетевого графика, представленного на рис. 3.3. Продолжительность выполнения работ в днях указана над стрелками.

Определим ранние сроки выполнения работ, начиная с тех, которые выходят из исходного события 1.

$$t_{12}^{рн} = t_{13}^{рн} = t_{14}^{рн} = 0;$$

$$t_{12}^{ро} = t_{12}^{рн} + t_{12} = 0 + 3 = 3;$$

$$t_{13}^{ро} = t_{13}^{рн} + t_{13} = 0 + 5 = 5;$$

$$t_{14}^{ро} = t_{14}^{рн} + t_{14} = 0 + 4 = 4;$$

$$t_{25}^{рн} = t_{12}^{ро} = 3;$$

$$t_{25}^{ро} = t_{25}^{рн} + t_{25} = 3 + 9 = 12;$$

$$t_{34}^{\text{PH}} = t_{37}^{\text{PH}} = t_{13}^{\text{PO}} = 5;$$

$$t_{34}^{\text{PO}} = t_{34}^{\text{PH}} + t_{34} = 5 + 7 = 12;$$

$$t_{37}^{\text{PO}} = t_{37}^{\text{PH}} + t_{37} = 5 + 2 = 7;$$

$$t_{46}^{\text{PH}} = t_{47}^{\text{PH}} = \max(t_{14}^{\text{PO}}; t_{34}^{\text{PO}}) = \max(4; 12) = 12;$$

$$t_{46}^{\text{PO}} = t_{46}^{\text{PH}} + t_{46} = 12 + 3 = 15;$$

$$t_{47}^{\text{PO}} = t_{47}^{\text{PH}} + t_{47} = 12 + 6 = 18;$$

$$t_{56}^{\text{PH}} = t_{58}^{\text{PH}} = t_{25}^{\text{PO}} = 12;$$

$$t_{56}^{\text{PO}} = t_{56}^{\text{PH}} + t_{56} = 12 + 3 = 15;$$

$$t_{58}^{\text{PO}} = t_{58}^{\text{PH}} + t_{58} = 12 + 2 = 14;$$

$$t_{68}^{\text{PH}} = \max(t_{46}^{\text{PO}}; t_{56}^{\text{PO}}) = \max(15; 15) = 15;$$

$$t_{68}^{\text{PO}} = t_{68}^{\text{PH}} + t_{68} = 15 + 5 = 20;$$

$$t_{78}^{\text{PH}} = \max(t_{37}^{\text{PO}}; t_{47}^{\text{PO}}) = \max(7; 18) = 18;$$

$$t_{78}^{\text{PO}} = t_{78}^{\text{PH}} + t_{78} = 18 + 1 = 19.$$

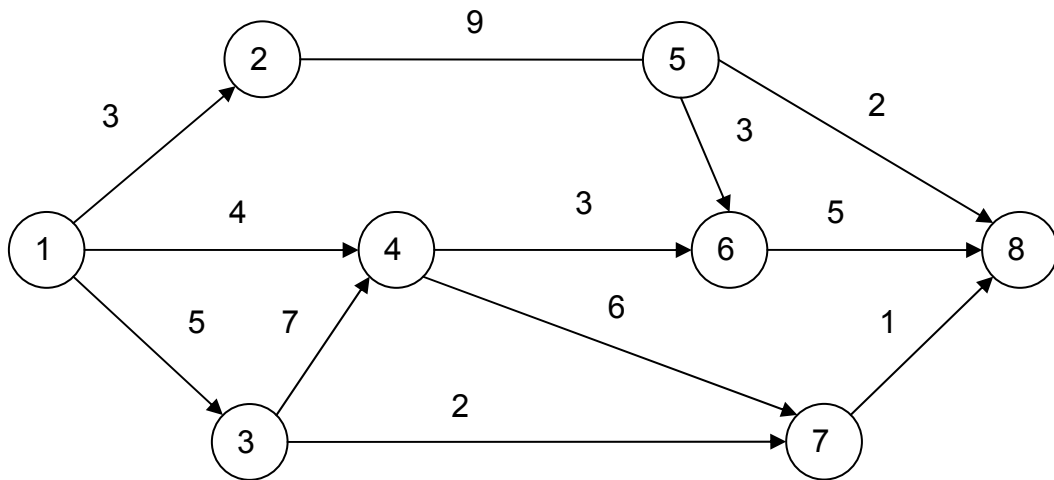


Рис. 3.3. Временные параметры сетевого графика

Длина критического пути равна 20 дням:

$$t_{\text{кр}} = \max(t_{58}^{\text{PO}}; t_{68}^{\text{PO}}; t_{78}^{\text{PO}}) = \max(14; 20; 19) = 20.$$

Рассчитаем поздние сроки выполнения работ (начав с работ, входящих в завершающее событие 8):

$$t_{58}^{\text{NO}} = t_{68}^{\text{NO}} = t_{78}^{\text{NO}} = t_{\text{кр}} = 20;$$

$$t_{78}^{\text{NH}} = t_{78}^{\text{NO}} - t_{78} = 20 - 1 = 19;$$

$$t_{68}^{\text{NH}} = t_{68}^{\text{NO}} - t_{68} = 20 - 5 = 15;$$

$$t_{58}^{\text{NH}} = t_{58}^{\text{NO}} - t_{58} = 20 - 2 = 18;$$

$$t_{56}^{\text{NO}} = t_{46}^{\text{NO}} = t_{68}^{\text{NH}} = 15;$$

$$t_{56}^{\text{NH}} = t_{56}^{\text{NO}} - t_{56} = 15 - 3 = 12;$$

$$t_{46}^{\text{NH}} = t_{46}^{\text{NO}} - t_{46} = 15 - 3 = 12;$$

$$t_{47}^{\text{NO}} = t_{37}^{\text{NO}} = t_{78}^{\text{NH}} = 19;$$

$$t_{47}^{\text{NH}} = t_{47}^{\text{NO}} - t_{47} = 19 - 6 = 13;$$

$$t_{37}^{\text{NH}} = t_{37}^{\text{NO}} - t_{37} = 19 - 2 = 17;$$

$$t_{34}^{по} = t_{14}^{по} = \min(t_{46}^{пн}, t_{47}^{пн}) = \min(12; 13) = 12; \quad t_{34}^{пн} = t_{34}^{по} - t_{34} = 12 - 7 = 5;$$

$$t_{14}^{пн} = t_{14}^{по} - t_{14} = 12 - 4 = 8;$$

$$t_{25}^{по} = \min(t_{56}^{пн}, t_{58}^{пн}) = \min(12; 18) = 12; \quad t_{25}^{пн} = t_{25}^{по} - t_{25} = 12 - 9 = 3;$$

$$t_{13}^{по} = \min(t_{34}^{пн}, t_{37}^{пн}) = \min(5; 17) = 5; \quad t_{13}^{пн} = t_{13}^{по} - t_{13} = 5 - 5 = 0;$$

$$t_{12}^{по} = t_{25}^{пн} = 3; \quad t_{12}^{пн} = t_{12}^{по} - t_{12} = 3 - 3 = 0.$$

Определим общие и частные резервы времени работ:

$$R_{12} = t_{12}^{по} - t_{12}^{по} = 3 - 3 = 0; \quad r_{12} = t_{25}^{пн} - t_{12}^{по} = 3 - 3 = 0;$$

$$R_{13} = t_{13}^{по} - t_{13}^{по} = 5 - 5 = 0; \quad r_{13} = t_{34}^{пн} - t_{13}^{по} = t_{37}^{пн} - t_{13}^{по} = 5 - 5 = 0;$$

$$R_{14} = t_{14}^{по} - t_{14}^{по} = 12 - 4 = 8; \quad r_{14} = t_{46}^{пн} - t_{14}^{по} = t_{47}^{пн} - t_{14}^{по} = 12 - 4 = 8;$$

$$R_{25} = t_{25}^{по} - t_{25}^{по} = 12 - 12 = 0; \quad r_{25} = t_{56}^{пн} - t_{25}^{по} = t_{58}^{пн} - t_{25}^{по} = 12 - 12 = 0;$$

$$R_{34} = t_{34}^{по} - t_{34}^{по} = 12 - 12 = 0; \quad r_{34} = t_{46}^{пн} - t_{34}^{по} = t_{47}^{пн} - t_{34}^{по} = 12 - 12 = 0;$$

$$R_{37} = t_{37}^{по} - t_{37}^{по} = 19 - 7 = 12; \quad r_{37} = t_{78}^{пн} - t_{37}^{по} = 18 - 7 = 11;$$

$$R_{46} = t_{46}^{по} - t_{46}^{по} = 15 - 15 = 0; \quad r_{46} = t_{68}^{пн} - t_{46}^{по} = 15 - 15 = 0;$$

$$R_{47} = t_{47}^{по} - t_{47}^{по} = 19 - 18 = 1; \quad r_{47} = t_{78}^{пн} - t_{47}^{по} = 18 - 18 = 0;$$

$$R_{56} = t_{56}^{по} - t_{56}^{по} = 15 - 15 = 0; \quad r_{56} = t_{68}^{пн} - t_{56}^{по} = 15 - 15 = 0;$$

$$R_{58} = t_{58}^{по} - t_{58}^{по} = 20 - 14 = 6; \quad r_{58} = t_{кр} - t_{58}^{по} = 20 - 14 = 6;$$

$$R_{68} = t_{68}^{по} - t_{68}^{по} = 20 - 20 = 0; \quad r_{68} = t_{кр} - t_{68}^{по} = 20 - 20 = 0;$$

$$R_{78} = t_{78}^{по} - t_{78}^{по} = 20 - 19 = 1; \quad r_{78} = t_{кр} - t_{78}^{по} = 20 - 19 = 1.$$

Таблица 3.1

Код работы	t_{ij}	$t_{ij}^{пн}$	$t_{ij}^{по}$	$t_{ij}^{пн}$	$t_{ij}^{по}$	R_{ij}	r_{ij}	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-2	3	0	3	0	3	0	0	критич.
1-3	5	0	5	0	5	0	0	критич.
1-4	4	0	4	8	12	8	8	
2-5	9	3	12	3	12	0	0	критич.
3-4	7	5	12	5	12	0	0	критич.
3-7	2	5	7	17	19	12	11	
4-6	3	12	15	12	15	0	0	критич.
4-7	6	12	18	13	19	1	0	
5-6	3	12	15	12	15	0	0	критич.
5-8	2	12	14	18	20	6	6	
6-8	5	15	20	15	20	0	0	критич.
7-8	1	18	19	19	20	1	1	

Работы, имеющие нулевой общий резерв времени, являются критическими. На рассматриваемом сетевом графике имеется два критических пути. Они проходят через события 1–2–3–6–8 и 1–3–4–6–8. Вышеприведенные расчеты по мере их выполнения заносятся в таблицу, которая в итоге принимает следующий вид (см. табл. 3.1).

3.3.2. Четырехсекторный метод

При четырехсекторном методе расчета события сетевого графика рисуют в увеличенном масштабе и делят на четыре сектора. До начала расчета заполняют только верхние сектора, в которых указывают номера соответствующих событий (i). Расчет параметров сетевого графика осуществляют в следующем порядке.

1. Заполняют левые сектора всех событий (начиная с исходного и заканчивая завершающим событием). В левом секторе события i записывают раннее начало работ, выходящих из этого события. Если в событие i входит одна работа $h-i$, то в левый сектор этого события записывают значение суммы числа в левом секторе события h и продолжительности работы $h-i$:

$$t_{ij}^{\text{PH}} = t_{hi}^{\text{PH}} + t_{hi}. \quad (3.12)$$

Если в событие i входит более одной работы, то в его левом секторе записывают максимальную из таких сумм:

$$t_{ij}^{\text{PH}} = \max(t_{hi}^{\text{PH}} + t_{hi}). \quad (3.13)$$

Параллельно заполняют нижние сектора событий. В нижнем секторе события i указывают номер предшествующего события h , через которое проходит путь максимальной длины от исходного события до события i . Длина этого пути равна числу в левом секторе события i .

В левом секторе исходного события ставят ноль, в нижнем секторе – прочерк.

В левом секторе завершающего события записывают длину критического пути, которую приравнивают максимальной из сумм ранних начал и продолжительностей работ, входящих в завершающее событие:

$$t_{\text{кр}} = \max(t_{in}^{\text{PH}} + t_{in}). \quad (3.14)$$

2. Заполняют правые сектора всех событий (начиная с завершающего и заканчивая исходным событием). Если из события i выходит одна работа $i-j$, то в его правом секторе записывают позднее на-

чало работы $i-j$, найденное как разность числа в правом секторе события j и продолжительности этой работы:

$$t_{ij}^{\text{пн}} = t_{jk}^{\text{пн}} - t_{ij}. \quad (3.15)$$

Если из события i выходит более одной работы, то в правом секторе события i записывают минимальное из поздних начал этих работ:

$$\min t_{ij}^{\text{пн}} = \min(t_{jk}^{\text{пн}} - t_{ij}). \quad (3.16)$$

В правом секторе завершающего события записывают длину критического пути $t_{\text{кр}}$.

3. Определяют критические работы. Для этого на сетевом графике отыскивают события с одинаковыми числами в левом и правом секторах. Эти события лежат на критическом пути, и соединяющие их работы являются критическими. Кроме того, на критический путь указывают номера в нижних секторах событий. Их можно использовать для проверки.

4. Определяют резервы времени не критических работ. Их записывают в виде дроби рядом с величиной продолжительности соответствующей работы (в числителе дроби – общий резерв времени, в знаменателе – частный резерв времени). Для определения общего резерва времени работы $i-j$ из числа в правом секторе события j вычитают число в левом секторе события i и продолжительность работы $i-j$:

$$R_{ij} = t_{jk}^{\text{пн}} - t_{ij}^{\text{пн}} - t_{ij}. \quad (3.17)$$

Для нахождения частного резерва времени работы $i-j$ из числа в левом секторе события j вычитают число в левом секторе события i и продолжительность работы $i-j$:

$$r_{ij} = t_{jk}^{\text{пн}} - t_{ij}^{\text{пн}} - t_{ij}. \quad (3.18)$$

Для работ, входящих в завершающее событие, резервы времени определяются по формуле

$$R_{in} = r_{in} = t_{\text{кр}} - t_{in}^{\text{пн}} - t_{in} \text{ для всех } i. \quad (3.19)$$

Пример 3.2. Пример расчета параметров сетевого графика четырехсекторным методом представлен на рис. 3.4. Этот сетевой график построен для случая, когда на участке автомобильной дороги длиной 3 км поточно выполняют 3 вида работ: устройство подстилающего слоя (ПС), устройство основания (О), устройство покрытия (П). Продолжительность работ в сменах указана под стрелками.

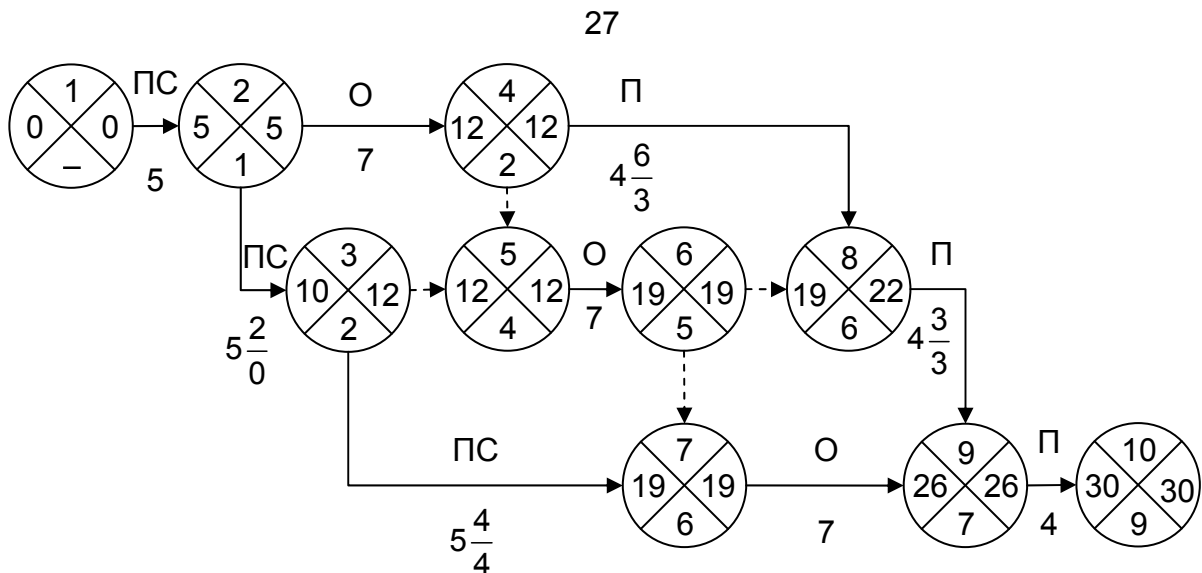


Рис. 3.4. Пример расчета параметров сетевого графика четырехсекторным методом

3.3.3. Метод потенциалов

В данном методе потенциалом события i (t_i^n) называют длину наибольшего пути от события i до завершающего события.

При расчете сетевого графика методом потенциалов пространство около каждого события разбивается на четыре сектора. В верхнем секторе события i указывают номер последующего события j , через которое проходит путь наибольшей длины от события i до завершающего события. В нижнем секторе указывают номер предшествующего события h , через которое проходит путь наибольшей длины от исходного события до события i . В левом секторе события i записывают раннее начало работ, выходящих из события i (t_{ij}^{PH}), в правом – потенциал этого события (t_i^n).

Расчет параметров сетевого графика выполняют в следующем порядке:

1. Заполняют левый и нижний сектора всех событий (начиная с исходного и заканчивая завершающим событием). При этом выполняются действия, предусмотренные пунктом 1 четырехсекторного метода.

2. Заполняют правый и верхний сектора всех событий (начиная с завершающего и заканчивая исходным событием). Если из события i выходит одна работа $i-j$, то его потенциал равен сумме продолжительности работы $i-j$ и потенциала события j :

$$t_i^n = t_{ij} + t_j^n. \tag{3.20}$$

Если из события i выходит более одной работы, то его потенциал приравнивают максимальной из сумм продолжительностей этих работ и потенциалов последующих событий:

$$t_i^n = \max(t_{ij} + t_j^n). \quad (3.21)$$

В верхнем секторе события i указывают номер соответствующего последующего события j .

В правом секторе завершающего события n ставят ноль ($t_n^n = 0$), в верхнем секторе – прочерк.

3. Определяют критические работы. Критический путь на сетевом графике выделяют, ориентируясь на номера в верхних секторах событий (начиная с исходного) или в нижних секторах (начиная в завершающего события).

4. Определяют резервы времени не критических работ. Их записывают в виде дроби рядом с величиной продолжительности соответствующей работы (в числителе – общий резерв, в знаменателе – частный резерв времени). Для определения общего резерва времени работы $i-j$ из длины критического пути вычитают раннее начало и продолжительность работы $i-j$, а также потенциал события j :

$$R_{ij} = t_{кр} - (t_{ij}^{PH} + t_{ij} + t_j^n). \quad (3.22)$$

Частный резерв времени работы $i-j$ определяют по формуле (3.18).

Для работ, входящих в завершающее событие, резервы времени определяются по формуле (3.19).

Пример 3.3. Пример расчета параметров сетевого графика методом потенциалов приведен на рис. 3.5. Под стрелками указана продолжительность работ в сменах.

В результате расчета параметров сетевого графика любым из рассмотренных методов определяют моменты начала и окончания критических работ, обеспечивающие реализацию строительной программы в течение срока $t_{кр}$, а также интервалы времени, в течение которых могут выполняться не критические работы без изменения величины $t_{кр}$. Однако при построении календарного графика сроки выполнения как не критических, так и критических работ могут быть изменены в результате учета дополнительных требований к организации работ, например, ресурсных ограничений.

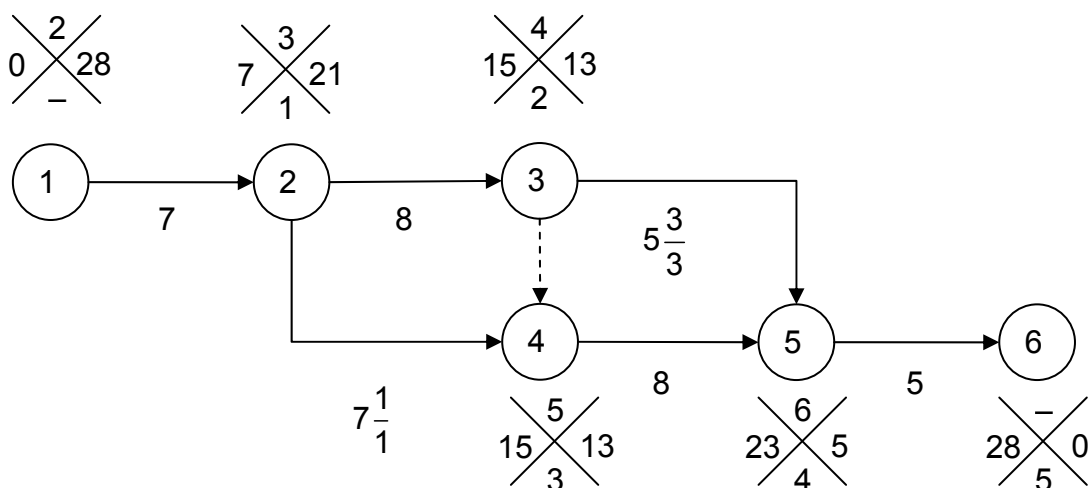


Рис. 3.5. Пример расчета параметров сетевого графика методом потенциалов

3.4. Построение календарного графика

При построении календарного графика комплекса работ помимо результатов расчета параметров сетевого графика необходимо учитывать существующие ресурсные ограничения, которые определяют возможность реализации строительного проекта в рассчитанные сроки.

Первоначальный вариант календарного графика, как правило, строят, исходя из ранних сроков начала всех работ. Фиктивные работы на календарном графике не указываются. Затем проверяют, выполняются ли ресурсные ограничения. Если ресурсные ограничения не выполняются, то осуществляют корректировку сроков выполнения работ, прежде всего некритических (используя их резервы времени), а если этого недостаточно, то и критических. Если при этом изменяется продолжительность выполнения каких-либо работ (t_{ij}), то следует пересчитать временные параметры сетевого графика. В заключение производится привязка сроков выполнения работ к календарю.

Вид ресурсных ограничений зависит от особенностей конкретной задачи. Рассмотрим два частных случая.

Если некоторый ресурс используется для выполнения разных видов работ и его количество ограничено, то при построении календарного графика необходимо установить такие сроки выполнения работ, чтобы потребности в этом ресурсе в любой момент времени не превышали имеющегося его количества.

Пример 3.4. Построим календарный график комплекса работ, рассмотренного в примере 3.1, при условии, что в качестве ресурсного ограничения выступает численность рабочих. Предположим, что для выполнения указанных работ строительная организация может выделить не более 13 рабочих. Следовательно, сроки выполнения этих работ нужно назначить так, чтобы суммарная потребность в рабочих в любой день строительства не превышала 13 человек. Число рабочих, необходимых для выполнения каждой работы, приведено в табл. 3.2.

На рис. 3.6а представлен первоначальный вариант календарного графика, построенный для случая, когда все работы выполняются в ранние сроки. Критические работы изображены сплошными линиями. Для некритических работ пунктиром указан интервал времени ($t_{ij}^{рн}; t_{ij}^{по}$), в течение которого они могут быть выполнены без увеличения общей продолжительности строительства, а сплошной чертой – принятый срок их выполнения. Можно видеть, что в 1, 2, 3, 4, 13 и 14-й дни ограничение на число рабочих нарушается.

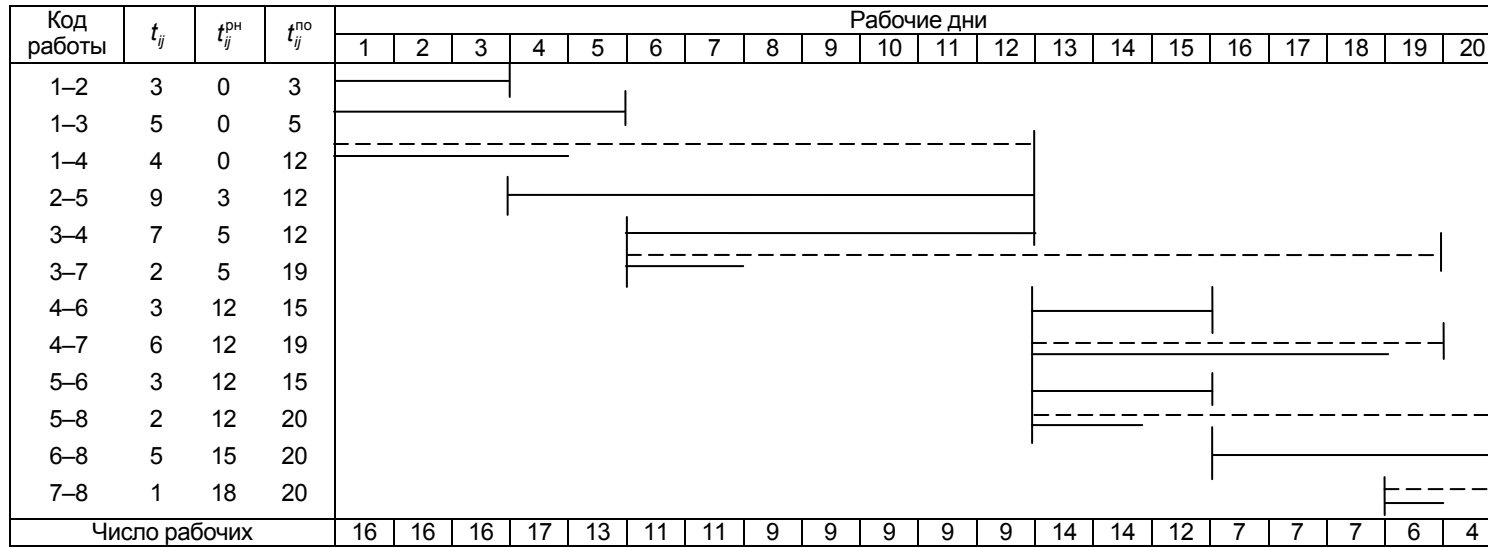
Скорректируем календарный график, используя для этого частные резервы времени некритических работ. Перенесем момент начала работы 1–4 с 1-го на 6-й день, работы 3–7 – с 6-го на 16-й день, работы 5–8 – с 13-го на 18-й день, в результате ресурсное ограничение будет выполняться в течение всех 20-ти дней строительства (рис. 3.6б).

Таблица 3.2

Работа $i-j$	Потребность в рабочих, чел.	Работа $i-j$	Потребность в рабочих, чел.
1–2	5	4–6	5
1–3	7	4–7	3
1–4	4	5–6	4
2–5	6	5–8	2
3–4	3	6–8	4
3–7	2	7–8	2

Если для выполнения каждого вида работ создается специализированный отряд, то при построении календарного графика стремятся обеспечить эффективное использование ресурсов, например, минимизировать время простоя отрядов.

а)



б)

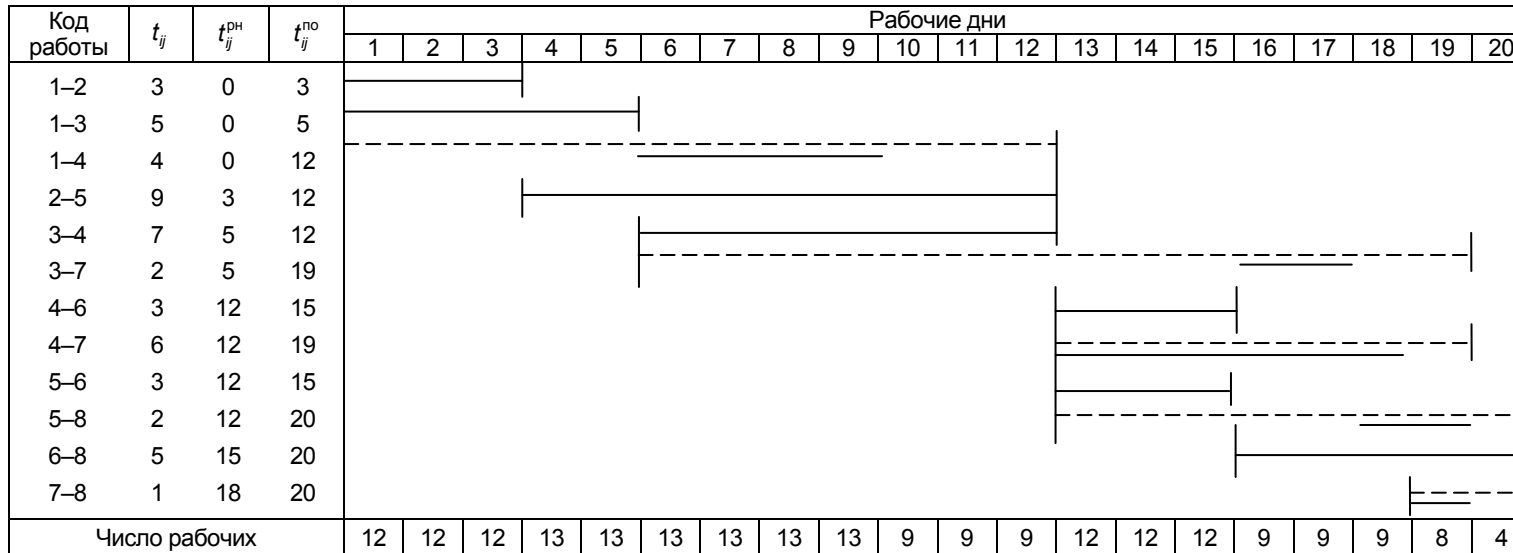


Рис. 3.6. Календарный график для примера 3.4: а – до корректировки; б – после корректировки

Пример 3.5. Построим календарный график для работ, рассмотренных в примере 3.2. Каждая из них выполняется специализированным отрядом. Установим такие сроки выполнения этих работ, чтобы время простоя отрядов было минимальным.

Если все работы будут выполнены в их ранние сроки, то простои отряда по устройству покрытия составят 6 смен (рис. 3.7).

Для того чтобы минимизировать время простоя, нужно все работы, предшествующие работам критического пути, выполнять в их ранние сроки, а работы, следующие за критическими работами, выполнять в их поздние сроки. В данном случае в поздние сроки следует выполнить работы по устройству покрытия. Тогда простои отряда по устройству покрытия сократятся до нуля.

Вид работ	Код работы	t_{ij}	$t_{ij}^{РН}$	$t_{ij}^{ПО} = t_{ij}^{РН} + R_{ij} + t_{ij}$	Смены						
					4	8	12	16	20	24	28
ПС	1–2	5	0	5	-----						
	2–3	5	5	12	-----						
	3–7	5	10	19	-----						
О	2–4	7	5	12	-----						
	5–6	7	12	19	-----						
	7–9	7	19	26	-----						
П	4–8	4	12	22	-----						
	8–9	4	19	26	-----						
	9–10	4	26	30	-----						

Рис. 3.7. Календарный график для примера 3.5.

Выполнение не критических работ по устройству покрытия (4–8 и 8–9) в их ранние и поздние сроки показано соответственно над и под пунктирными линиями

В заключение установленные сроки выполнения работ привязываются к календарю. Эта привязка может осуществляться как на календарном графике, так и в специально составленной таблице – календаре. Календарь начинается с даты начала реализации строительного проекта, которая должна приходиться на рабочий день. Далее последовательно проставляются все рабочие дни за период строительства и соответствующие календарные даты. При этом необходимо учитывать дни, в которые работы не производятся (выходные и праздничные). В табл. 3.3 показана часть календаря для проекта, реализация которого началась 16 мая 2018 г.

Таблица 3.3

Рабочие дни	Календарные даты
1	16.05.18, ср.
2	17.05.18, чт.
3	18.05.18, пт.
–	19.05.18, сб.
–	20.05.18, вс.
4	21.05.18, пн.
5	22.05.18, вт.
.	.
.	.
.	.

3.5. Учет вероятностного характера процесса производства строительных работ

При изложении материала в п. 3.3 продолжительность выполнения работ считалась детерминированной (достоверно известной) величиной. Однако в общем случае продолжительность строительных работ, которая зависит от множества факторов, следует рассматривать как вероятностную (случайную) величину.

Один из способов учета вероятностного характера процесса выполнения строительных работ состоит в том, что в рассмотрение вводятся три различные оценки продолжительности каждой работы: оптимистическая, пессимистическая и наиболее вероятная.

Оптимистическая оценка a – это продолжительность выполнения работа в наиболее благоприятных условиях. **Пессимистическая оценка b** – это продолжительность выполнении работы в наиболее неблагоприятных условиях. **Наиболее вероятная оценка m** – это продолжительность выполнения работы в нормальных условиях. Предполагается, что в интервале между оптимистической и пессимистической оценками заключены все возможные значения продолжительности работы.

Математическое ожидание \bar{t}_{ij} и дисперсию D_{ij} случайной продолжительности работы $i-j$ определяют по формулам:

$$\bar{t}_{ij} = (a + b + 4m) / 6, \quad (3.23)$$

$$D_{ij} = [(b - a) / 6]^2. \quad (3.24)$$

Сетевой график, построенный для работ со случайной продолжительностью, называется вероятностным. Расчет параметров веро-

ятностного сетевого графика и построение календарного графика осуществляются так же, как это было описано в п. 3.3 и 3.4, только детерминированные оценки продолжительности работ t_{ij} заменяются математическими ожиданиями \bar{t}_{ij} .

Кроме того, в этом случае производят оценку надежности календарного графика, т.е. определяют вероятность завершения строительных работ в заданные сроки t_3 . Вероятность завершения работы $i-j$ к некоторому сроку равна вероятности того, что событие j наступит не позднее этого срока.

Обозначим через t_j момент наступления события j . Поскольку продолжительности работ, ведущих к событию j , являются случайными величинами, то t_j также случайная величина. Предполагая, что все работы статистически независимы и, следовательно, величина t_j является суммой независимых случайных величин, делают вывод о том, что распределение t_j близко к нормальному с математическим ожиданием \bar{t}_j и дисперсией D_{t_j} .

Вероятность того, что нормально распределенная случайная величина t_j примет значение, принадлежащее интервалу $(0; t_3)$, определяют по формуле

$$P(0 < t_j < t_3) = \Phi((t_3 - \bar{t}_j)/\sigma_{t_j}) + \Phi(\bar{t}_j/\sigma_{t_j}), \quad (3.25)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа; σ_{t_j} – среднее квадратичное отклонение случайной величины t_j .

Таблица значений функции Лапласа для положительных значений x ($0 \leq x \leq 5$) приведена в приложении; для значений $x > 5$ полагают $\Phi(x) = 0,5$; при отрицательных значениях x пользуются этой же таблицей, учитывая, что $\Phi(-x) = -\Phi(x)$.

Математическое ожидание \bar{t}_j и дисперсия D_{t_j} случайной величины t_j определяются следующим образом.

Если событие j связано с исходным событием только одним путем, то \bar{t}_j приравнивается сумме математических ожиданий \bar{t}_{ij} , а D_{t_j} – сумме дисперсий $D_{t_{ij}}$ продолжительностей работ, принадлежащих этому пути.

Если событие j связано с исходным событием более чем одним путем, то для расчетов величин \bar{t}_j и D_{t_j} используется путь наиболь-

шей длины. Если такую длину имеют несколько путей, то выбирается путь с наибольшей суммой дисперсий продолжительностей составляющих его работ.

Пример 3.6. Рассмотрим комплекс работ из примера 3.1. Предположим, что для каждой из этих работ заданы 3 оценки продолжительности (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Работа	Оценки продолжительности (a, b, m)	Работа	Оценки продолжительности (a, b, m)
1–2	2, 4, 3	4–6	1, 5, 3
1–3	3, 11, 4	4–7	4, 8, 6
1–4	2, 6, 4	5–6	2, 4, 3
2–5	6, 12, 9	5–8	1, 3, 2
3–4	6, 8, 7	6–8	4, 6, 5
3–7	1, 3, 2	7–8	0.5, 1.5, 1

Математические ожидания \bar{t}_{ij} и дисперсии D_{tij} продолжительностей работ, рассчитанные по формулам (3.23)...(3.24), приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Работа	\bar{t}_{ij}	D_{tij}	Работа	\bar{t}_{ij}	D_{tij}
1–2	3	0,11	4–6	3	0,44
1–3	5	1,78	4–7	6	0,44
1–4	4	0,44	5–6	3	0,11
2–5	9	1,00	5–8	2	0,11
3–4	7	0,11	6–8	5	0,11
3–7	2	0,11	7–8	1	0,03

Поскольку значения математических ожиданий \bar{t}_{ij} совпадают со значениями t_{ij} в примере 3.1, мы можем не пересчитывать параметры сетевого графика и использовать данные табл. 3.1.

Оценим вероятность того, что рассматриваемые работы будут завершены не позже заданных сроков t_3 (см. 3-ю графу табл. 3.6). Для этого нужно рассчитать вероятность наступления до указанного срока всех событий сетевого графика, кроме исходного. Соответствующие расчеты приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Событие j	Путь	t_3	\bar{t}_j	D_{ij}	σ_{ij}	$P(0 < t_j < t_3)$
2	1-2	3	3	0,11	0,33	0,5000
3	1-3	5	5	1,78	1,33	0,4999
4	1-3-4	11	12	1,89	1,37	0,2327
5	1-2-5	13	12	1,11	1,05	0,8289
6	1-3-4-6	17	15	2,33	1,53	0,9049
7	1-3-4-7	19	18	2,33	1,53	0,7422
8	1-3-4-6-8	21	20	2,44	1,56	0,7389

В графе «Путь» указаны события, через которые проходит путь наибольшей длины от исходного события до события j . К событиям 6 и 8 ведут два таких пути. Среди них выбирался путь с максимальной суммой дисперсий продолжительностей составляющих его работ.

Значения \bar{t}_j и D_{ij} определены вышеописанным способом. Вероятность наступления событий j не позднее момента t_3 рассчитана по формуле (3.25). Например, вероятность того, что все работы будут завершены к 21-му дню, равна 0,7389.

Чтобы увеличить вероятность завершения комплекса работ в установленные сроки, нужно тщательно контролировать процесс выполнения прежде всего тех работ, которые лежат на путях (указанных в графе «Путь»), ведущих к событиям с наименьшей вероятностью наступления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экономика дорожного хозяйства: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / А.И. Авраамов, А.А. Авсеенко, Е.Н. Гарманов [и др.]; под ред. Е.Н. Гарманова. – М.: Академия, 2012. – 400 с.
2. Дингес, Э.В. Экономика строительства, ремонта и содержания дорог: учебник / Э.В. Дингес. – М.: Академия, 2014. – 280 с.
3. Беляков, Г.С. Методические рекомендации по использованию экономико-математических методов при выполнении выпускных квалификационных работ бакалавра / Г.С. Беляков, С.А. Гужов. – М.: МАДИ, 2015. – 52 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица значений функции Лапласа $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz$

x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)
0,00	0,0000	0,32	0,1255	0,64	0,2380	0,96	0,3315
0,01	0,0040	0,33	0,1293	0,65	0,2422	0,97	0,3340
0,02	0,0080	0,34	0,1331	0,66	0,2454	0,98	0,3365
0,03	0,0120	0,35	0,1368	0,67	0,2486	0,99	0,3389
0,04	0,0160	0,36	0,1406	0,68	0,2517	1,00	0,3413
0,05	0,0199	0,37	0,1443	0,69	0,2549	1,01	0,3438
0,06	0,0239	0,38	0,1480	0,70	0,2580	1,02	0,3461
0,07	0,0279	0,39	0,1517	0,71	0,2611	1,03	0,3485
0,08	0,0319	0,40	0,1554	0,72	0,2642	1,04	0,3508
0,09	0,0359	0,41	0,1591	0,73	0,2673	1,05	0,3531
0,10	0,0398	0,42	0,1628	0,74	0,2703	1,06	0,3554
0,11	0,0438	0,43	0,1664	0,75	0,2734	1,07	0,3577
0,12	0,0478	0,44	0,1700	0,76	0,2764	1,08	0,3599
0,13	0,0517	0,45	0,1736	0,77	0,2794	1,09	0,3621
0,14	0,0557	0,46	0,1772	0,78	0,2823	1,10	0,3643
0,15	0,0596	0,47	0,1808	0,79	0,2852	1,11	0,3665
0,16	0,0636	0,48	0,1844	0,80	0,2881	1,12	0,3686
0,17	0,0675	0,49	0,1879	0,81	0,2910	1,13	0,3708
0,18	0,0714	0,50	0,1915	0,82	0,2939	1,14	0,3729
0,19	0,0753	0,51	0,1950	0,83	0,2967	1,15	0,3749
0,20	0,0793	0,52	0,1985	0,84	0,2995	1,16	0,3770
0,21	0,0832	0,53	0,2019	0,85	0,3023	1,17	0,3790
0,22	0,0871	0,54	0,2054	0,86	0,3051	1,18	0,3810
0,23	0,0910	0,55	0,2088	0,87	0,3078	1,19	0,3830
0,24	0,0948	0,56	0,2123	0,88	0,3106	1,20	0,3849
0,25	0,0987	0,57	0,2157	0,89	0,3133	1,21	0,3869
0,26	0,1026	0,58	0,2190	0,90	0,3159	1,22	0,3883
0,27	0,1064	0,59	0,2224	0,91	0,3186	1,23	0,3907
0,28	0,1103	0,60	0,2257	0,92	0,3212	1,24	0,3925
0,29	0,1141	0,61	0,2291	0,93	0,3238	1,25	0,3944
0,30	0,1179	0,62	0,2324	0,94	0,3264		
0,31	0,1217	0,63	0,2357	0,95	0,3289		

Продолжение прил.

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
1,26	0,3962	1,59	0,4441	1,92	0,4726	2,50	0,4938
1,27	0,3980	1,60	0,4452	1,93	0,4732	2,52	0,4941
1,28	0,3997	1,61	0,4463	1,94	0,4738	2,54	0,4945
1,29	0,4015	1,62	0,4474	1,95	0,4744	2,56	0,4948
1,30	0,4032	1,63	0,4484	1,96	0,4750	2,58	0,4951
1,31	0,4049	1,64	0,4495	1,97	0,4756	2,60	0,4953
1,32	0,4066	1,65	0,4505	1,98	0,4761	2,62	0,4956
1,33	0,4082	1,66	0,4515	1,99	0,4767	2,64	0,4959
1,34	0,4099	1,67	0,4525	2,00	0,4772	2,66	0,4961
1,35	0,4115	1,68	0,4535	2,02	0,4783	2,68	0,4963
1,36	0,4131	1,69	0,4545	2,04	0,4793	2,70	0,4965
1,37	0,4147	1,70	0,4554	2,06	0,4803	2,72	0,4967
1,38	0,4162	1,71	0,4564	2,08	0,4812	2,74	0,4969
1,39	0,4177	1,72	0,4573	2,10	0,4821	2,76	0,4971
1,40	0,4192	1,73	0,4582	2,12	0,4830	2,78	0,4973
1,41	0,4207	1,74	0,4591	2,14	0,4838	2,80	0,4974
1,42	0,4222	1,75	0,4599	2,16	0,4846	2,82	0,4976
1,43	0,4236	1,76	0,4608	2,18	0,4854	2,84	0,4977
1,44	0,4251	1,77	0,4616	2,20	0,4861	2,86	0,4979
1,45	0,4265	1,78	0,4625	2,22	0,4868	2,88	0,4980
1,46	0,4279	1,79	0,4633	2,24	0,4875	2,90	0,4981
1,47	0,4292	1,80	0,4641	2,26	0,4881	2,92	0,4982
1,48	0,4306	1,81	0,4649	2,28	0,4887	2,94	0,4984
1,49	0,4319	1,82	0,4656	2,30	0,4893	2,96	0,4985
1,50	0,4332	1,83	0,4664	2,32	0,4898	2,98	0,4986
1,51	0,4345	1,84	0,4671	2,34	0,4904	3,00	0,49865
1,52	0,4357	1,85	0,4678	2,36	0,4909	3,20	0,49931
1,53	0,4370	1,86	0,4686	2,38	0,4913	3,40	0,49966
1,54	0,4382	1,87	0,4693	2,40	0,4918	3,60	0,499841
1,55	0,4394	1,88	0,4699	2,42	0,4922	3,80	0,499928
1,56	0,4406	1,89	0,4706	2,44	0,4927	4,00	0,499968
1,57	0,4418	1,90	0,4713	2,46	0,4931	4,50	0,499997
1,58	0,4429	1,91	0,4719	2,48	0,4934	5,00	0,499997

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. ПОТОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПОТОКИ	4
1.1. Поточные методы организации работ	4
1.2. Временные параметры строительного потока	5
1.3. Выбор направления движения строительного потока	6
2. РАСЧЕТ ПОТОКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ С НЕПРЕРЫВНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕСУРСОВ	8
2.1. Расчет неритмичного потока	9
2.2. Расчет разноритмичного потока	12
2.3. Расчет равноритмичного потока	15
3. РАСЧЕТ ПОТОКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ С КРИТИЧЕСКИМ ПУТЕМ.....	16
3.1. Правила построения сетевого графика.....	17
3.2. Временные параметры сетевого графика	19
3.3. Методы расчета временных параметров сетевого графика.....	21
3.3.1. Табличный метод.....	21
3.3.2. Четырехсекторный метод.....	25
3.3.3. Метод потенциалов.....	27
3.4. Построение календарного графика	29
3.5. Учет вероятностного характера процесса производства строительных работ.....	33
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	36
ПРИЛОЖЕНИЕ	
Таблица значений функции Лапласа $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz$	37

Учебное издание

БЕЛЯКОВ Глеб Станиславович

**ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ
И УПРАВЛЕНИЯ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Редактор И.А. Короткова

Редакционно-издательский отдел МАДИ. E-mail: rio@madi.ru

Подписано в печать 28.11.2018 г. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,5. Тираж 250 экз. Заказ . Цена 85 руб.
МАДИ, Москва, 125319, Ленинградский пр-т, 64.