

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова

## **Сетевое планирование и управление**

Методические указания к выполнению расчетной графической работы  
по дисциплине «Экономико-математические методы проектирования  
транспортных сооружений» для студентов специальности  
270205 – Автомобильные дороги и аэродромы, бакалавров  
по направлению 270800.62– «Строительство»  
профиля «Автомобильные дороги и аэродромы»

Белгород  
2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова  
Кафедра автомобильных и железных дорог

Утверждено  
научно-методическим советом  
университета

## **Сетевое планирование и управление**

Методические указания к выполнению расчетной графической работы по дисциплине «Экономико-математические методы проектирования транспортных сооружений» для студентов специальности 270205 – Автомобильные дороги и аэродромы, бакалавров по направлению 270800.62– «Строительство» профиля «Автомобильные дороги и аэродромы»

Белгород  
2012

УДК 625.8 (075)  
ББК 39.311 я 7  
С33

Составители: канд. техн. наук, доц. С.А.Гнездилова  
ст. преп. А.С. Погромский  
ст. преп. Э.П. Грибова

Рецензент канд. техн. наук, проф. В.И. Шухов

**С33 Сетевое** планирование и управление: методические указания к выполнению расчетно-графической работы / сост.: сост.С.А. Гнездилова, А.С. Погромский, Э.П. Грибова – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 21 с.

В методических указаниях приводятся основные требования к структуре и содержанию расчетно-графической работы по дисциплине «Экономико-математические методы проектирования транспортных сооружений», а также представлен порядок выполнения расчета основных параметров сетевого графика. Приведен пример расчета.

Методические указания предназначены для студентов специальности 270205 – Автомобильные дороги и аэродромы, бакалавров по направлению 270800.62– «Строительство» профиля «Автомобильные дороги и аэродромы».

УДК 625.8 (075)  
ББК 39.311 я 7

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2012

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАСЧЕТНО-ГРАФЧЕСКОЙ РАБОТЫ**

Закрепить теоретические знания студентов по практическому использованию сетевого планирования и управления. Научить практическим приемам построения, упорядочения и расчета основных параметров сетевого графика

### **СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ**

Расчетно-графическая работа состоит из расчетно-пояснительной записки, содержащей следующие разделы:

1. Исходные данные для расчета сетевого графика.
2. Общие положения и область использования сетевого планирования и управления.
3. Описание основных математических зависимостей, используемых для расчета сетевого графика.
4. Расчет сетевого графика.

### **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТЫ**

Пояснительная записка (объем 5 - 7с.) должна состоять из титульного листа, задания на проектирование, содержания, текста пояснительной записки и списка использованной литературы.

Текст пояснительной записки с необходимыми расчетами, обоснованиями и титульный лист должны быть написаны на стандартных листах формата А4 и оформлены в соответствии с ЕСКД. Формулы приводятся с расшифровкой всех символов и с последующей подстановкой числовых величин. Страницы пояснительной записки подлежат сквозной нумерации, ссылки на литературу указываются в квадратных скобках, список литературы составляется в порядке ее использования.

### **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ**

Исходными данными являются:

- а) задание на выполнение РГЗ в виде схемы сетевого графика с указанием временных параметров;
- б) описание видов работ с указанием их продолжительности.

## СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

### 1. Исходные данные для расчета

Исходные данные включают в себя: задание на выполнение РГЗ в виде схемы сетевого графика с указанием временных параметров.

### 2. Расчет сетевого графика

#### 2.1. Общие положения

Коренное улучшение планирования в линейном строительстве – одна из важнейших задач дорожно-строительных организаций. В связи с большой материалоемкостью и разнообразием дорожно-строительных работ документы для планирования должны быть наглядны, удобны для последующего хода работ и управления. В соответствии со сложившейся практикой применяются две основные формы планирования дорожно-строительных работ: календарная и сетевая.

Календарное планирование дорожно-строительных работ в настоящее время является основным. Основным документом этого вида планирования является линейный календарный график. Основным недостатком этого документа – жесткая фиксация сроков выполнения, т.е. график не подлежит корректировке при изменении сроков работ, а подлежит полной переделке.

Более совершенным и эффективным методом планирования является сетевое планирование и управление (СПУ). Этот метод основан на использовании достижений современной математики и вычислительной техники, является гибким и наглядным инструментом планирования.



Основу сетевого графа составляют три элемента: работа, событие и путь.

**Работа** – это самостоятельная трудовая операция, которую можно рассматривать изолированно от других. Различают следующие виды работ:

*действительная* – трудовой процесс, требующий времени и ресурсов (например, устройство щебеночного основания), обозначается на графике сплошной линией;

*ожидание* – технологическая операция, требующая времени без затрат ресурсов (например, процесс твердения бетона при устройстве цементобетонного покрытия), обозначается на графике волнистой линией;

*фиктивная (зависимость)* – указывает только на логическую связь между работами и не требует ни времени, ни ресурсов, обозначается на графике штриховой линией.

**Событием** называется момент начала или окончания какой-либо работы, является фиксированным фактом ее начала или окончания, не имеет продолжительности. Каждая работа имеет начальное и конечное событие. Работу нельзя начать, пока не наступит ее начальное событие. Событие не может наступить, пока не будут выполнены все работы, для которых оно является конечным.

По отношению к предшествующим и последующим работам события бывают:

*промежуточные* – выражают получение конечных результатов всех предшествующих и готовность к началу всех непосредственно следующих работ. Они служат одновременно начальными и конечными событиями для разных работ;

*исходные* – выражают готовность к началу всех непосредственно следующих работ. Они не имеют входящих работ. На сети может быть только одно начальное событие;

*завершающие* – выражают факт окончания всех работ данного процесса и не имеют выходящих работ. Таких событий в сети может быть одно или несколько (если графики отдельных процессов соединяются в одно целое, например, графики строительства земляного полотна, искусственных сооружений, дорожной одежды соединяются в единый график строительства автодороги).

**Путь** – любая последовательность работ, соединяющая какие-либо два события. Его продолжительность равна суммарной продолжительности составляющих работ. Различают путь:

*полный* – последовательность работ, соединяющая исходное и завершающее события;

*промежуточный* – между событиями;

*критический* – наибольший полный путь.

В сетевом графике всегда несколько полных путей. Максимальный из них – критический. Его продолжительность определяет общий срок выполнения процесса. Чтобы ускорить последний, надо уменьшить критический путь. Для оптимизации сетевого графика по сроку выполнения работ необходимо изыскать способы сокращения критического пути; контролировать выполнение работ, составляющих критический путь; принимать оперативные меры, предупреждая их срыв. Обычно на графике критический путь обозначают жирной или двойной линией.

### **2.3. Правила построения сетевого графика**

1. Сетевой график обычно строят слева направо.
2. Стрелки (работы) вычерчивают, не соблюдая какой-либо масштаб.
3. Следует избегать их пересечений.

4. У каждой работы номер начального события должен быть меньше номера конечного события и работа направлена от события с меньшим номером к событию с большим номером. Такая нумерация называется правильной, а график считается упорядоченным (см. ниже).

5. Каждое промежуточное событие должно иметь хотя бы одну предшествующую (входящую) и хотя бы одну последующую (выходящую) работу, т.е. на сети не должно быть промежуточных событий, из которых не выходит ни одной работы («тупиковые события») и в которые не входит ни одна работа («хвостовые события»).

6. Ни один путь не должен дважды проходить через одно и то же событие. В противном случае на сети образуется замкнутый цикл работ, что говорит об ошибке в построении графика.

7. Между двумя событиями находится только одна работа, т.е. не должно быть работ с одинаковыми номерами начальных и конечных событий.

8. В сети рекомендуется иметь одно исходное и одно завершающее событие. Если в построенной сети это не так, то добиться желаемого можно путем введения фиктивных событий и работ.

### **2.4. Упорядочение сетевого графика**

Как следует из перечня, исходным событием сетевого графика является событие 0 (ему не предшествуют никакие работы), а завершающим – событие 11 (за ним не следует ни одна работа).

Предполагая на сетевых графиках изменение времени слева направо, поместим событие 0 в левую часть графика, а событие 11 в правую часть, разместив между ними промежуточные в некотором порядке, соответствующем их номерам (см. рис. 2). События свяжем работами-стрелками в соответствии с перечнем работ. Построенный график удовлетворяет правилам построения сетевого графика, но он не полностью упорядочен.

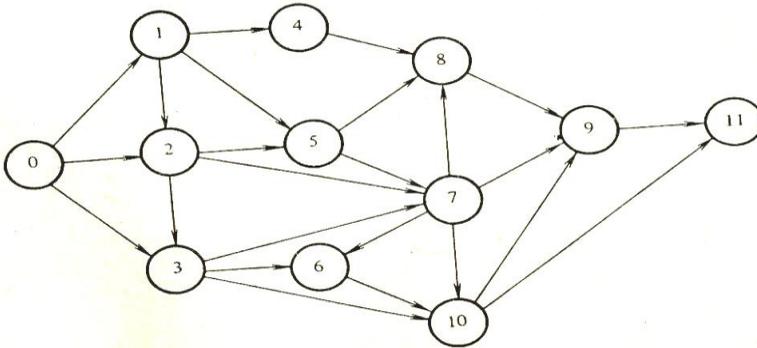


Рис. 2. Первоначальный вариант сетевого графика

Как было указано выше, **упорядочение сетевого графика заключается в таком расположении событий и работ, при котором для любой работы предшествующее ей событие расположено левее и имеет меньший номер по сравнению с завершающим эту работу событием.** Другими словами, в упорядоченном сетевом графике все работы-стрелки направлены слева направо – от событий с меньшими номерами к событиям с большими номерами. Разобьем сетевой график условно на несколько вертикальных слоев (обведем их пунктирными линиями и обозначим римскими цифрами).

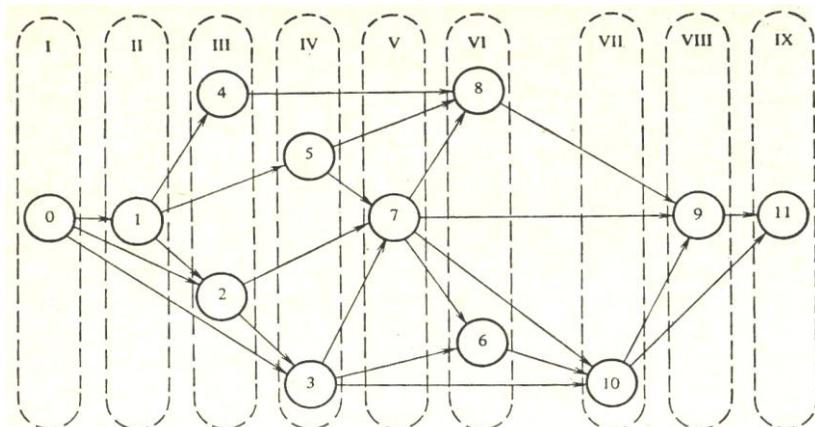


Рис. 3. Частично упорядоченный сетевой график

Поместив в I слое начальное событие 0 (см. рис. 3), мысленно вычеркнем из графика (рис. 2) это событие и все выходящие из него работы-стрелки. Тогда без входящих стрелок останется событие 1, образующее II слой. Вычеркнув мысленно событие 1 и все выходящие из него работы, увидим, что без входящих стрелок остаются события 4 и 2, которые образуют III слой. Продолжая указанную процедуру вычеркивания, получим IV слой с событиями 5 и 3, V слой с событием 7, VI – с событиями 8 и 6, VII – с событием 10, VIII – с событием 9 и, наконец, IX слой с событием 11.

Теперь видим, что первоначальная нумерация не совсем правильная: так событие 6 лежит в VI слое и имеет номер меньше, чем событие 7 из предыдущего слоя. То же можно сказать и о событиях 9 и 10.

Изменим нумерацию событий в соответствии с их расположением на графике (рис. 3) и получим упорядоченный сетевой график (см. рис. 4), в котором над стрелками указана продолжительность соответствующих работ (в сут). Порядок нумерации событий, расположенных в одном вертикальном слое, принципиального значения не имеет, так что нумерация одного и того же графика может быть неоднозначной.

10

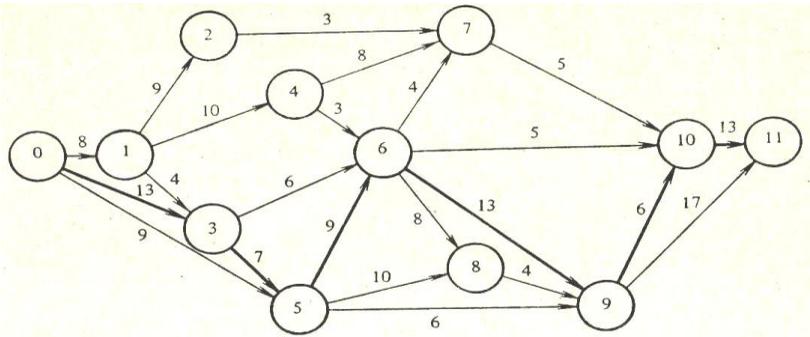


Рис. 4. Упорядоченный сетевой график

## 2.5. Временные параметры сетевых графиков

Основные временные параметры сетевых графиков приведены в табл.1.

Таблица 1

### Основные временные параметры сетевых графиков

Элемент сети, характеризующий параметром	Наименование параметра	Условное обозначение параметра
Событие $i$	Ранний срок свершения события Поздний срок свершения события Резерв времени события	$T_p(i)$ $t(i)$ $R(i)$
Работа $(i, j)$	Продолжительность работы Ранний срок начала работы Ранний срок окончания работы Поздний срок начала работы Поздний срок окончания работы Полный резерв времени работы	$T(i, j)$ $t_{pn}(i, j)$ $t_{po}(i, j)$ $t_{nn}(i, j)$ $t_{no}(i, j)$ $R_n(i, j)$
Путь $L$	Продолжительность пути Продолжительность критического пути Резерв времени пути	$t(L)$ $t_{кр}$ $R(L)$

Ранний (или ожидаемый) срок свершения события находится по формуле

$$t_p(j) = \max [t_p(i) + t(i, j)]. \quad (1)$$

Поздний срок свершения события находится по формуле

$$t_n(i) = \min [t_n(j) - t(i, j)]. \quad (2)$$

Резерв времени  $R(i)$   $i$ -го события определяется как разность между поздним и ранним сроком его свершения:

$$R(i) = t_n(i) - t_p(i). \quad (3)$$

Резерв времени показывает на какой допустимый период времени можно задержать наступление этого события, не вызывая при этом увеличения срока выполнения комплекса работ.

Критические события резервов времени не имеют, так как любая задержка в свершении события, лежащего на критическом пути, вызовет такую же задержку в свершении завершающего события.

Из этого следует, что для того, чтобы определить длину и топологию критического пути, вовсе не обязательно перебирать все полные пути сетевого графика и определять их длины. Определив ранний срок наступления завершающего события сети, мы тем самым определяем длину критического пути, а выявив события с нулевыми резервами времени, определяем его топологию. Порядок расчета параметров сетевого графика:

- расчет производим слева направо;
- для начального (нулевого) события  $t_p(i) = 0$ ;
- обсчитываем все ранние сроки свершения событий по формуле (1);
- дойдя до завершающего события приравняем  $t_p(i) = t_n(i)$ ;
- производим расчет поздних сроков событий по формуле (2);
- рассчитываем резерв времени по формуле (3);
- определяем топологию (начертание) критического пути, который проходит через события с нулевым резервом времени. На рис. 4 он выделен жирной линией. Расчет временных параметров производится в таблице.

Кроме определения параметров сетевых графиков в таблице их можно фиксировать непосредственно на самом графе. Обычно этот прием используется при расчете достаточно простых графиков. В этом случае параметры событий записываются в кружках, разделенных на четыре части, а параметры работ – над соответствующими стрелками (см. рис. 5) при этом отпадает необходимость составления таблиц.

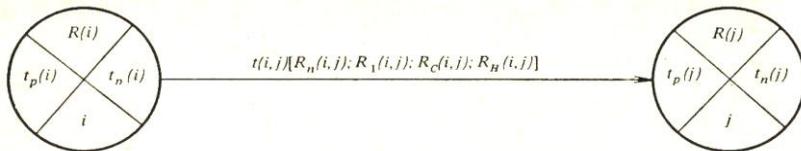


Рис. 5. Расположение временных параметров работы (i, j) при их непосредственном определении на графике

### 3. Сетевое планирование в условиях неопределенности

При определении временных параметров сетевого графика до сих пор предполагалось, что время выполнения каждой работы точно известно. Такое предположение в действительности выполняется редко. Чаще всего продолжительность работы по сетевому графику заранее не известна и может принимать лишь одно из ряда своих возможных значений. Другими словами продолжительность работы  $t(i, j)$  является случайной величиной, характеризующейся своим законом распределения, и своими числовыми характеристиками – средним значением или математическим ожиданием  $t(i, j)$  и дисперсией  $\sigma^2(i, j)$ .

Практически во всех системах СПУ априорно принимается, что распределение продолжительности работ обладает тремя свойствами:

- а) непрерывностью;
- б) унимодальностью (т.е. наличием единственного максимума у кривой распределения);
- в) двумя неотрицательными точками пересечения кривой распределения с осью абсцисс.

Кроме того, установлено, что распределение продолжительности работ обладает положительной асимметрией, т.е. максимум кривой смещен влево относительно медианы (линии, делящей площадь под кривой на две равные части). Распределение, как правило, более круто поднимается при удалении от минимального значения  $t$  и полого опускается при приближении к максимальному значению (см. рис. б).

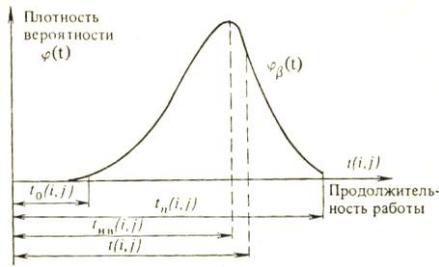


Рис. 6. Временные оценки продолжительности работы

Простейшим распределением с подобными свойствами является известное в математической статистике  $\beta$ -распределение. Анализ большого количества статистических данных (хронометражи времени реализации отдельных работ, нормативные данные и т.д.) показывает,  $\beta$ -распределение можно использовать в качестве априорного для всех работ. Для определения числовых характеристик  $t(i, j)$  и  $\sigma^2(i, j)$  этого распределения для работы  $(i, j)$  на основании опроса наиболее ответственных исполнителей и экспертов определяют три временные оценки (см. рис.6):

- оптимистическая оценка  $t_o(i, j)$ , т.е. продолжительность работы  $(i, j)$  при благоприятных условиях;
- пессимистическая оценка  $t_n(i, j)$ , т.е. продолжительность работы  $(i, j)$  при самых неблагоприятных условиях;
- наиболее вероятная оценка  $t_{нв}(i, j)$ , т.е. продолжительность работы  $(i, j)$  при нормальных условиях.

Предположение о  $\beta$ -распределении продолжительности работы позволяет получить следующие оценки ее числовых характеристик:

$$t(i, j) = \frac{t_o(i, j) + 4t_{нв}(i, j) + t_n(i, j)}{6}; \quad (4)$$

$$\sigma^2(i, j) = \left[ \frac{t_n(i, j) - t_o(i, j)}{6} \right]^2; \quad (5)$$

Следует отметить, что обычно специалистам сложно оценить наиболее вероятное время выполнения работы  $t_{нв}(i, j)$ . Поэтому в

реальных проектах используется упрощенная (и менее точная) оценка средней продолжительности работы  $(i, j)$  на основании лишь двух задаваемых временных оценках  $t_o(i, j)$  и  $t_n(i, j)$ :

$$t(i, j) = \frac{2t_o(i, j) + 3t_n(i, j)}{5}; \quad (6)$$

Зная  $t(i, j)$  и  $\sigma^2(i, j)$ , можно определять временные параметры сетевого графика и оценивать их надежность.

Предположим, что сетевой график на рис. 4 представляет сеть не с детерминированными (фиксированными), а со случайными продолжительностями работ. Цифры над работами – стрелками указывают средние значения  $t(i, j)$  продолжительности соответствующих операций, найденные по формуле (4) или (6), и известны все дисперсии  $\sigma^2(i, j)$ , вычисленные по формуле (5). В этом случае временные параметры сетевого графика – длина критического пути, ранние и поздние сроки свершения событий, резервы времени событий и работ и так далее будут такие, как и найденные по формулам (1), (2), (3). Но при этом необходимо учесть, что эти параметры, представленные в табл.1, теперь будут являться средними значениями соответствующих случайных величин: средней длиной критического пути  $t_{кр}$ , средним значением раннего срока наступления событий  $t_p(i)$ , средним значением полного резерва времени работы  $R_n(i, j)$  и т.п.

Так, например,  $t_{кр} = 61$  будет означать, что длина критического пути лишь в среднем составляет 61 сут, а в каждом конкретном проекте возможны заметные отклонения длины критического пути от ее среднего значения, и чем больше суммарная дисперсия продолжительности работ критического пути, тем более вероятны значительные отклонения по абсолютной величине.

#### 4. Оптимизация сетевого графика

Оптимизация сетевого графика представляет процесс улучшения организации выполнения комплекса работ с учетом срока его выполнения. Она проводится с целью сокращения длины критического пути, рационального использования ресурсов.

В первую очередь принимаются меры по сокращению продолжительности работ, находящихся на критическом пути. Это достигается:

– перераспределением всех видов ресурсов, как временных (использование резервов времени некритических путей), так и трудовых, материальных, энергетических (например, перевод части исполнителей, оборудования с некритических путей на работы критического пути); при этом перераспределение ресурсов должно идти, как правило, из зон менее напряженных в зоны, объединяющие наиболее напряженные работы;

- сокращением трудоемкости критических работ за счет передачи части работ на другие пути, имеющие резервы времени;
- параллельным выполнением работ критического пути;
- пересмотром топологии сети, изменением состава работ и структуры сети.

В процессе сокращения продолжительности работ критический путь может измениться, и в дальнейшем процесс оптимизации будет направлен на сокращение продолжительности работ нового критического пути, и так будет продолжаться до получения удовлетворительного результата. Эти расчеты при большом количестве событий (более 100) лучше выполнять на ЭВМ.

## **5. Порядок разработки и управления дорожно-строительными работами по СГ (сетевому графику)**

### **5.1 Порядок разработки**

1. Уточняется перечень действительных и фиктивных работ, а также ожиданий в планируемом периоде.

2. Составляется схематический график, который подлежит упорядочению.

3. Выделяются переходные события и делится общий комплекс на части по переходным событиям;

4. Строятся укрупненные части с объединением ряда работ в одну при сохранении номеров начального и конечного событий для каждой такой части общего графика.

5. Выполняется сшивка частей в единый график.

6. Производится разукрупнение графика, т.е. выделение на нем всех событий и работ. При этом всем событиям присваиваются номера, которые наносятся на график и заносятся в таблицу на графике (см. рис.1)или в отдельную библиотеку событий.

7. Определяется длительность выполнения всех работ графика  $t(i, j)$ , продолжительности ожидания  $t_{ож}$ , а также величины дисперсии времени работ  $\sigma^2(i, j)$ .

8. Рассчитываются ранние и поздние сроки свершения событий и резервы времени у событий и работ.

9. Определяются критические пути графика.

10. Производится оптимизация графика по избранному критерию и необходимое при этом частичное или полное перепланирование сетевого графика.

11. Выполняется оценка надежности завершения работ в заданные сроки. При неудовлетворительном результате производится перепланирование графика с выделением увеличенных ресурсов с повторным контролем надежности.

## 5.2. Управление работами

Управление работами по СГ предусматривает сбор и обработку периодической информации о ходе работ, корректировку СГ в соответствии с обстановкой, принятие решения на продолжение работ и доведение решения до исполнителей.

Порядок управления работами по СГ:

1. Перед началом строительных работ исполнительный СГ является точной копией планового графика с той лишь разницей, что на первом внизу отводится место для карты контроля хода работ.

2. Временные характеристики событий и работ проставляют карандашом, что позволяет быстро заменить их новыми значениями при корректировке графика.

3. В процессе строительства через определенные промежутки времени (неделя, месяц и т.п.) контролируют объем выполненных работ, СГ приводят в соответствие с производственной обстановкой. Ранее отмечалось, что в ходе строительства отклонения сроков выполнения работ от плановых неизбежны. Поэтому фактические значения продолжительности завершённых работ твердо фиксируют на графе (например, проставляют тушью) и в дальнейшем они не подлежат изменению.

4. С учетом выполненных работ график вновь просчитывают, при этом может изменяться критический путь и величины резервов некритических работ.

5. Такая корректировка графика позволяет периодически сверять фактический темп работ с плановым, прогнозировать намечающиеся срывы и своевременно принимать меры к их недопущению.

6. На карте хода работ фиксируют процент выполнения плана различными исполнителями и причины отклонения фактических сроков выполнения работ от плановых.

7. Оперативное управление строительством требует создания диспетчерской службы, ускоряющей сбор информации о ходе работ и доведения распоряжений до исполнителей.

Таблица 2.

**Пример расчета сетевого графика, изображенного на рис. 4.**

Номер события	Сроки свершения события, сут		Резерв времени, сут $R(i)$
	Ранний $t_p(i)$	Поздний $t_n(i)$	
0	0	0	0
1	8	9	1
2	17	40	23
3	13	13	0
4	23	26	3
5	20	20	0
6	29	29	0
7	33	43	10
8	37	38	1
9	42	42	0
10	48	48	0
11	61	61	0

При определении ранних сроков свершения событий  $t_p$  двигаемся по сетевому графику слева направо и используем формулу (1).

Для  $i = 0$  (нулевого события), очевидно,  $t_p(0) = 0$ . Для  $i = 1$   $t_p(1) = t_p(0) + t(0,1) = 0 + 8 = 8$  (сут), так как для события 1 существует только один предшествующий путь  $L_{n1} 0 \rightarrow 1$ . Для  $i = 2$   $t_p(2) = t_p(1) + t(1,2) = 8 + 9 = 17$  (сут), так как для события 2 существует только один предшествующий путь  $L_{n2} 0 \rightarrow 1 \rightarrow 2$ . Для  $i = 3$   $t_p(3) = \max \{ t_p(0) + t(0,3); t_p(1) + t(1,3) \} = \max \{ 0 + 13; 8 + 4 \} = \max \{ 13; 12 \} = 13$  (сут), так как для 3 существуют два предшествующих пути  $L_{n3}$ :  $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3$  и  $0 \rightarrow 3$  и два предшествующих события 0 и 1.

Аналогично:

$$t_p(4) = \max \{ t_p(1) + t(1,4); t_p(3) + t(3,4) \} = \max \{ 8 + 6; 13 + 10 \} = \max \{ 14; 23 \} = 23 \text{ суткам;}$$

$$t_p(5) = \max \{ t_p(3) + t(3,5); t_p(0) + t(0,5) \} = \max \{ 13 + 7; 0 + 9 \} = \max \{ 20; 9 \} = 20 \text{ суткам;}$$

$$t_p(6) = \max \{ t_p(4) + t(3,4); t_p(3) + t(3,6); t_p(5) + t(5,6) \} = \max \{ 23 + 3; 13 + 6; 20 + 9 \} = \max \{ 26; 19; 29 \} = 29 \text{ сут и т.д.}$$

Длина критического пути равна раннему сроку свершения завершающего события 11 (см. табл. 2):

$$t_{кр} = t_p(11) = 61 \text{ (сут).}$$

При определении поздних сроков свершения событий  $t_n(i)$  движемся по сети в обратном направлении, т.е. справа налево, и используем формулу (2).

Для  $i = 11$  (завершающего события) поздний срок свершения события должен равняться его раннему сроку (иначе изменится длина критического пути):  $t_n(11) = t_p(11) = 61$  (сут).

Для  $i = 10$   $t_n(10) = t_p(11) - t(10; 11) = 61 - 13 = 48$  (сут), так как для события 10 существует только один последующий путь  $L_{c10}: 10 \rightarrow 11$ .

Для  $i = 9$   $t_n(9) = \min\{t_n(10) - t(9; 10); t_n(11) - t(9; 10)\} = \min\{48 - 6; 61 - 17\} = \min\{42; 44\} = 42$  (сут), так как для события 9 существуют два последующих события 10 и 11.

Аналогично:

$$t_n(8) = t_n(9) - t(8; 9) = 42 - 4 = 38 \text{ (сут);}$$

$$t_n(7) = t_n(10) - t(7; 10) = 48 - 5 + 43 \text{ (сут);}$$

$$t_n(6) = \min\{t_n(7) - t(6; 7); t_n(10) - t(6; 10); t_n(9) - t(6; 9); t_n(8) - t(6; 18)\} = \min\{43 - 4; 48 - 5; 42 - 13; 38 - 8\} = \min\{39; 43; 29; 30\} = 29 \text{ (сут) и т.д.}$$

По формуле (3) определяем резервы времени  $i$ -го события:

$$R(0) = 0; R(1) = 9 - 8 = 1; R(2) = 23 \text{ и т.д.}$$

Резерв времени, например, события 2  $R(2) = 23$  — означает, что время свершения события 2 может быть задержано на 23 сут без увеличения общего срока выполнения проекта. Анализируя табл. 2 видно, что не имеют резервов времени события 0; 3; 5; 6; 9; 10; 11. Эти события и образуют критический путь (на рис. 4 он выделен жирным шрифтом).

**Библиографический список**

1. *Золотарь, И.А.* Экономико-математические методы в дорожном строительстве/ И.А.Золотарь. – М.: Транспорт, 1974. – 246 с.
2. *Карасев, А.И.* Математические методы и модели в планировании/ А.И.Карасев, Н.Ш.Кремер, Т.И.Васильева – М.: Экономика, 1987. – 240 с.
3. *Горшкова, Н.Г.* Методические указания к выполнению дипломного проекта и практических занятий по дисциплине «Математические модели в расчетах на ЭВМ» для студентов специальности 24.01 «Организация перевозок и управление на транспорте» / Н.Г. Горшкова. – Караганда: Карагандинский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт. Кафедра промышленного транспорта, 1994. – 32 с.

**Оглавление**

Цели и задачи расчетно - графической работы.....	3
Содержание расчетно – графической работы.....	3
Требования к оформлению работы.....	3
Исходные данные к расчетно - графической работе .....	3
Структура пояснительной записки.....	4
1.Исходные данные для расчета.....	4
2. Расчет сетевого графика.....	4
2.1.Общие положения.....	4
2.2.Основные понятия и термины, используемые в сетевом планировании.....	5
2.3.Правила построения сетевого графика.....	7
2.4.Упорядочение сетевого графика .....	7
2.5. Временные параметры сетевых графиков.....	9
3.Сетевое планирование в условиях неопределенности .....	11
4.Оптимизация сетевого графика.....	14
5.Порядок разработки и управления дорожно-строительными работами по сетевому графику.....	14
5.1.Порядок разработки.....	14
5.2. Управление работами .....	15
Приложение. Пример расчета .....	17
Библиографический список.....	19

Учебное издание

**Сетевое планирование и управление**

Методические указания к выполнению практических заданий по дисциплине «Экономико-математические методы проектирования транспортных сооружений» для студентов специальности 270205 – Автомобильные дороги и аэродромы, бакалавров по направлению 270800.62– «Строительство» профиля «Автомобильные дороги и аэродромы»

Составители: **Гнездилова** Светлана Александровна  
**Погромский** Алексей Сергеевич  
**Грибова** Элла Павловна

Подписано в печать                      Формат 60x84/16. Усл.печ.л.1,2. Уч-изд.л.1,3.

Тираж    экз.                                      Заказ                                      Цена  
Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете  
им. В.Г. Шухова  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46