

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”**

Кафедра менеджменту та оподаткування

**Горбунов М.П. Яценко О.М.**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання розрахунково-графічної роботи**

**з курсу «Операційний менеджмент»**

**для магістрів**

**за спеціальністю 6.030601**

**«Менеджмент»**

Затверджено на засіданні  
кафедри менеджменту та оподаткування  
протокол №      від              р.

Зав. кафедрою      проф.Краснокутська Н.С.

Харків 2015

## **1.1. Цели и задачи работы**

Цель работы — закрепление теоретических знаний и выработка практических навыков в области планирования и поиска резервов менеджерами для принятия решений по обеспечению эффективного выполнения работ по проектам.

Основные задачи работы:

- изучение и освоение студентами порядка и методов планирования работ с помощью линейных графиков (сетевых)
- развитие навыков самостоятельной работы по построению сетевых графиков;
- приобретение навыков проведения расчетов сетевых графиков для обоснования принятия решения при планировании и контроле работ по проектам;
- освоение современных инструментов и методов решения задач обоснования управленческих решений с помощью сетевого планирования.

## **1.2. Содержание работы**

Обучающимся предлагается:

- используя исходные данные, построить сетевой график.
- упорядочить сетевой график и проверить его на соответствие правилам, предъявляемым к сетевому графику. Выполнение задания показать поэтапно
- выписать все пути и определить критический путь;
- выполнить расчеты временных параметров сетевого графика табличным и секторным методами.

## **1.3. Исходные данные к проекту**

Исходная информация, необходимая для выполнения данной работы, содержит общие для всех вариантов сведения и приведена в таблице 2.

Распределение по вариантам выполняется в соответствии с порядковым номером студентов в журнале группы.

## 1.4. Методические указания по выполнению проекта

### 1) Основные понятия и правила построения сетевого графика

Сетевой график представляет собой модель процесса выполнения работ по отдельному объекту или комплексу объектов с рассчитанными временными параметрами, на которой показана технологическая последовательность выполнения всех работ и их взаимосвязь.

*Преимущества сетевых графиков заключаются в следующем:*

- устанавливается вся совокупность связей между отдельными работами;
- в линейных графиках много объектов информации: объем работ, использование трудовых ресурсов, время, стоимость, в сетевых – только время;
- по линейному графику нельзя определить точно конечный срок выполнения работ по проекту, в сетевых - это наглядно видно (критический путь);
- наглядно видны работы, определяющие продолжительность готовности объектов или их комплекса (работы критического пути);
- обеспечивается наглядное представление о технологической и организационной последовательности работ;
- создаются условия для прогнозирования хода работ по проекту. При различных отклонениях от графика имеется возможность предвидеть дальнейший ход работ по проекту и определить вероятную его продолжительность;
- руководство проекта получает возможность сосредоточить основное внимание и усилия на работах, от выполнения которых в данный момент зависит срок сдачи объектов в эксплуатацию, и принять меры для обеспечения своевременного завершения работ;
- сетевые графики допускают использование вычислительной техники, что повышает производительность труда инженерно-технических работников и улучшает его качество. Перечисленные преимущества сетевых графиков свойственны всем графикам, составленным для любых сфер производственной деятельности с учетом специфики отрасли.

В основу построения сетевого графика положены три понятия: *работа, событие, путь.*

**Работа** – производственный процесс, требующий затрат времени и материальных ресурсов и приводящий к достижению определенных результатов. На сетевом графике обозначается сплошными стрелками.

**Ожидание** – процесс, требующий только затрат времени и не потребляющий никаких материальных ресурсов. Ожидание, в сущности, является технологическим или организационным перерывом между работами, непосредственно выполняемыми друг за другом. На сетевом графике изображается также как работа сплошными стрелками.

**Фиктивная работа** отражает технологическую взаимосвязь работ и указывает на возможность начала новой работы после завершения предшествующих работ. Фиктивная работа не требует затрат времени и ресурсов, и обозначается в сетевом графике пунктирной стрелкой.

**Событие** – это факт окончания одной или нескольких работ, необходимых и достаточных для начала следующих работ.

В любой сетевой модели события устанавливают технологическую и организационную последовательность работ. События изображаются кружочками, внутри которых указывается определенный номер – код события. События ограничивают рассматриваемую работу и по отношению к ней могут быть начальными и конечными. В отличие от работы событие не является процессом, оно совершается мгновенно и не требует затрат времени и ресурсов.

Начальное событие определяет начало данной работы и является конечным для предшествующих работ.

Конечное событие определяет окончание данной работы и является начальным для последующих работ.

Исходное событие – событие, которое не имеет предшествующих работ в рамках рассматриваемого сетевого графика.

Завершающее событие – событие, которое не имеет последующих работ в рамках рассматриваемого сетевого графика.

Сложное событие – событие, в которое входят или из которого выходят две или более работы.

**Путь** – это непрерывная технологическая последовательность работ (цепь) от исходного до совершающего события по направлению стрелок. В сетевом графике между исходным и завершающим событием может быть несколько путей. Путь от исходного до завершающего события сетевого графика называется полным путем. Участок полного пути от исходного события графика до данного называется предшествующим, а участок полного пути от данного события до любого последующего – последующим.

Путь описывается последовательностью работ и событий. Путь, имеющий наибольшую длину (продолжительность) из всех полных путей называется **критическим путем**. Длина критического пути определяет сроки завершения работ по объекту – готовности объекта. Все работы, лежащие на критическом пути, именуют критическими, так как от сроков их выполнения зависит срок готовности объекта. Критический путь выделяют на графике двойными стрелками.

Работы, не лежащие на критическом пути, обладают определенными резервами времени, что имеет большое практическое значение для оперативного планирования и управление. Знание резервов времени на отдельных работах позволяет маневрировать материально-техническими и трудовыми ресурсами,

концентрируя их на работах, критического и подкритического пути. Изображение работ, событий и фиктивной работы приведено на рис. 1,2,3.



Рис. 1 – Изображение работ и событий

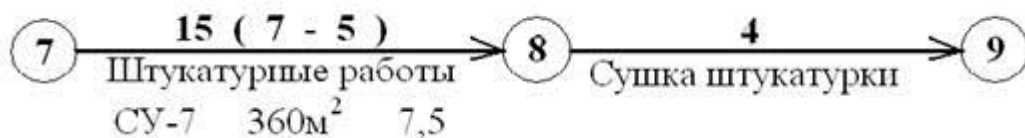


Рис. 2 – Изображение работы и ожидания

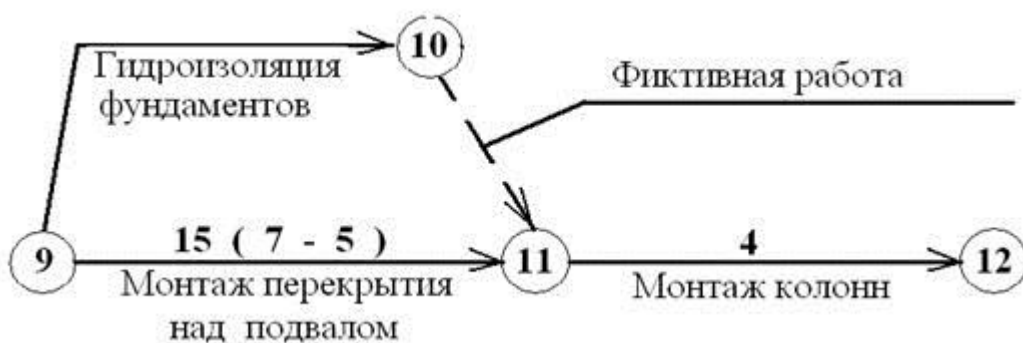


Рис. 3 – Изображение фиктивной работы

При построении сетевого графика необходимо соблюдать следующие правила:

- а) между двумя событиями должна быть одна работа;

- б) направление стрелок в сетевом графике – слева направо;
- в) каждое событие с большим порядковым номером изображается правее предыдущего. Нумерация событий должна идти слева направо, сверху вниз (или снизу вверх)
- г) не допускается в топологии сети замкнутых контуров, «тупиковых» и хвостовых событий;
- д) для изображения параллельно выполняемых работ, имеющих общие начальные и конечные события, вводится промежуточное событие и фиктивная связь;
- е) форма графика должна быть простой, стрелочки без пересечений;
- ж) в сетевом графике должно быть одно начальное и одно конечное событие.

## 2) Методика расчета сетевого графика

### а) Основные параметры сетевого графика

При расчете сетевого графика определяют следующие основные параметры:

- $ij$  – код данной работы;
- $i$  – код начального события данной работы;
- $j$  – код конечного события данной работы;
- $hi$  – код работы, предшествующий данной работе;
- $h$  – код событий, предшествующих начальному событию данной работы;
- $jk$  – код работ, последующих за конечным событием данной работы;
- $k$  – код событий, последующих конечному событию данной работы;
- $L$  – путь;
- $t(L)$  – продолжительность пути;
- $t(L \text{ кр.})$  – продолжительность критического пути;
- $T \text{ кр.}$  – критический срок  $t(L \text{ кр.}) = T \text{ кр.}$ ;
- $t_{ij}$  – продолжительность работы  $ij$
- $t_{ij}(\text{р.н.})$  – раннее начало работы  $ij$ ;
- $t_{ij}(\text{р.о.})$  – раннее окончание работы  $ij$ ;
- $T_{i(p)}$  – ранний срок свершения события  $i$ ;
- $t_{ij}(\text{п.н.})$  – позднее начало работы  $ij$ ;
- $t_{ij}(\text{п.о.})$  – позднее окончание работы  $ij$ ;
- $T_{j(п)}$  – поздний срок свершения события  $j$
- $r_{ij}$  – частный (свободный) резерв времени работы  $ij$ ;
- $R_{ij}$  – общий (полный) резерв времени работы  $ij$ .

### б) Аналитический метод расчета параметров сетевого графика

Сетевой график рассчитывают на основе аналитических зависимостей, отражающих взаимосвязь параметров простейшей сети по схеме, показанной на рис.4.



Рис. 4 – расчетная схема сетевого графика

На рисунке: h-i – предшествующая работа; i-j – данная работа; j-k – последующая работа.

Расчет выполняют в последовательности: сначала определяют ранние сроки начала и окончания всех работ, начиная от исходного события и заканчивая завершающим. На основании вычисленных ранних сроков устанавливают критический путь, затем определяют поздние сроки начала и окончания, после чего для всех не критических работ вычисляют резервы времени.

Раннее начало всех работ, выходящих из исходного события, принимается равным нулю. Все работы, выходящие из одного события, имеют одинаковое раннее начало.

Раннее начало работы  $t_{ij}$  (р.н.) - это самый ранний срок, в который можно начать данную работу. Оно определяется продолжительностью самого продолжительного пути от исходного события до события, с которого начинается данная работа  $\max h_i$

Раннее окончание работы определяют как сумму раннего начала и продолжительности данной работы:  $t_{ij}$  (р.н.)

$$t_{ij} \text{ (р.н.)} = t_{ij} \text{ (р.н.)} + t_{ij}$$

Ранние сроки начала и окончания работ определяют последовательным переходом от события к событию, слева направо по направлению стрелок.

Если данной работе предшествует одна работа, то раннее начало данной работы будет равно раннему окончанию предшествующей работы:

$$t_{ij} \text{ (р.н.)} = t_{hi} \text{ (р.о.)} ; \quad t_{jk} \text{ (р.н.)} = t_{ij} \text{ (р.о.)}$$

Максимальное значение раннего окончания какой-либо из работ, входящих в завершающее событие, определяет длину критического пути, состоящего из суммы продолжительности всех работ этого пути. Одновременно оно будет являться и самым поздним окончанием всех работ.

Позднее начало работы  $t_{ij}$  (п.н.) – самый поздний срок, в который можно начать данную работу, не вызвав увеличение общего срока окончания проекта (критического пути). Позднее начало любой работы определяют как разность между её поздним окончанием и продолжительностью самой работы:

$$t_{ij}(\text{п.н.}) = t_{ij}(\text{п.о.}) - t_{ij}$$

Поздние сроки начала и окончания работ определяют обратным ходом, т.е. справа налево.

Позднее окончание данной работы определяют по позднему началу последующей работы:

$$t_{ij}(\text{п.о.}) = t_{jk}(\text{п.н.})$$

Если за данной работой следует не одна, а несколько работ, то её позднее окончание будет равно минимальному значению из всех поздних начал последующих работ:

$$t_{ij}(\text{п.о.}) = \min t_{jk}(\text{п.н.})$$

Для работ критического пути ранние и поздние сроки начала и окончания равны.

Каждая работа, не лежащая на критическом пути может иметь два вида резервов времени: общий (полный) и частный (свободный).

Общий (полный) резерв времени работы  $R_{ij}$  показывает, насколько может быть увеличена продолжительность данной работы или перенесено её начало на более поздний срок без увеличения продолжительности критического пути. На практике, если общий резерв времени будет использован, то данная работа становится критической.

Общий резерв времени данной работы может быть определен по разности позднего и раннего начала или позднего и раннего окончания работ:

$$R_{ij} = t_{ij}(\text{п.н.}) - t_{ij}(\text{р.н.})$$

$$R_{ij} = t_{ij}(\text{п.о.}) - t_{ij}(\text{р.о.})$$

Общий резерв времени можно также определить по разности позднего начала последующей работы, раннего начала данной работы и продолжительность самой работы:

$$R_{ij} = t_{jk}(\text{п.н.}) - t_{ij}(\text{р.н.}) - t_{ij}$$

Частный (свободный) резерв времени работы – это время, на которое можно увеличить продолжительность данной работы или перенести её начало на более поздний срок без изменения раннего начала последующих работ. Частный резерв времени не может быть по своему значению больше общего, он или равен общему резерву времени или меньше его, в том числе равен нулю. Частный резерв времени имеет место, когда в событие входят две работы или более.

Частный резерв определяют как:

разность ранних начал и продолжительности самой работы:

$$r_{ij} = t_{jk} (\text{p.n.}) - t_{ij} (\text{p.n.}) - t_{ij}$$

или разность раннего начала последующей работы и раннего окончания самой работы

$$r_{ij} = t_{jk} (\text{p.n.}) - t_{ij} (\text{p.o.})$$

### в) Расчет сетевого графика секторным способом

Расчет сетевого графика секторным способом заключается в следующем:

- в определении максимального раннего начала каждой работы, значение которого проставляется в левый сектор каждого события от исходного до завершающего в порядке возрастания нумерации событий графика;
- в определении минимального позднего окончания каждой работы, значения которого проставляются в правый сектор каждого события от завершающего до исходного в порядке убывания нумерации событий графика;
- в определении общего (R) и частного (r) резервов времени по каждой работе сетевого графика и критического пути, определяющего срок строительства объекта.

В верхнем секторе указывают номер события, в левом секторе раннее начало работ, в правом секторе позднее окончание работ, в нижнем секторе указывают календарную дату (рис. 5).



Рис. 5 – Условные обозначения

Сетевой график секторным способом рассчитывают в следующей последовательности.

(Пример расчета сетевого графика секторным способом представлен на рисунке 7).

**Первый этап.** Определяют ранние сроки работ. Рассчитывают слева на право от исходного до завершающего события. При этом заполняют только левые секторы событий, принимая за начало максимальную продолжительность пути, ведущего от начала к данному событию, т.е. наибольшее значение раннего окончания из всех работ, входящих в данное событие.

Ранний срок исходного события принимается равным нулю – в левый сектор первого события ставится нуль, затем к нему прибавляют продолжительность рассматриваемой работы и результат ставят в левый сектор последующего события.

Например: раннее начало события 2 будет равно 6, т.е. к нулю левого сектора события 1 прибавили продолжительность рассматриваемой работы, равную 6 дням.

Если к событию подходят две или несколько работ, то принимают наибольшее значение раннего начала из всех работ, входящих в данное событие.

Например: к событию 4 подходят две работы 1–4 и 3-4, продолжительность работы 1-4 равна 9 дням, работы 3-4 равна  $6 + 8 = 14$  дней, в левый сектор события 4 записываем максимальную продолжительность т.е. 14; к событию 5 подходит две работы 3-5 и 4-5; для работы 3-5 продолжительность равна (6 дней из левого сектора событий 3 плюс 4 дня продолжительность работы 3-5) 10 дней. Для работы 4-5 продолжительность будет равна  $14 + 3 = 17$  дней, поэтому в левый сектор события 5 записываем цифру 17.

**Второй этап.** Определяют поздние сроки работ. Рассчитывают справа налево, т.е. от завершающего события к исходному. Заполняют правые сектора событий сетевого графика. Для последнего события 11 максимально раннего начала работ равно 33 дням, последующих работ нет, поэтому поздний срок окончания завершающихся работ, т.е. цифру 33 переносят в правый сектор события 11 и начинают рассчитывать поздние сроки всех остальных работ ходом справа налево. В правый сектор записывают минимальные значения разности между поздним окончанием работы и её продолжительностью.

Например: из событий 5 выходят две работы – 5-8 и 5-9. для них разности будут составлять соответственно  $24 - 7 = 17$  и  $29 - 8 = 21$ . Цифру 17, как минимальную из двух разностей, записывают в правый сектор события 5, и т.д.

Критический путь проходит через события, у которых значения левого и правого сектора равны, а общий и частный резервы времени равны нулю на работах, соединяющих данные события.

**Третий этап.** Общий резерв времени R определяют вычитанием из значения правого сектора события, стоящего у конца стрелки, значение левого сектора события, стоящего у начала стрелки и продолжительность рассматриваемой работы.

Например:

для работы 3-6	$25 - (6+2)=17$
-//- 3-5	$17 - (6+4) = 7$

$$-//- 3-4 \quad 14 - (6+8) = 0$$

$$-//- 6-7 \quad 26 - (8+1) = 17 \text{ и т.д.}$$

**Четвертый этап.** Частный резерв времени  $r$  определяют вычитанием из значения левого сектора события, стоящего у конца стрелки, значения левого сектора события, стоящего у начала стрелки и продолжительность рассматриваемой работы.

Например: для работы 3-6  $8 - (6+2) = 0$

$$-//- 3-5 \quad 17 - (6+4) = 7$$

$$-//- 3-4 \quad 14 - (6+8) = 0$$

$$-//- 6-7 \quad 10 - (8+1) = 1 \text{ и т.д.}$$

После вычисления всех расчетных параметров сетевого графика и определения траектории критического пути производят привязку графика к календарю, которая заключается в установлении дат начала и окончания работ. Даты записываются в нижний сектор работ критического пути.

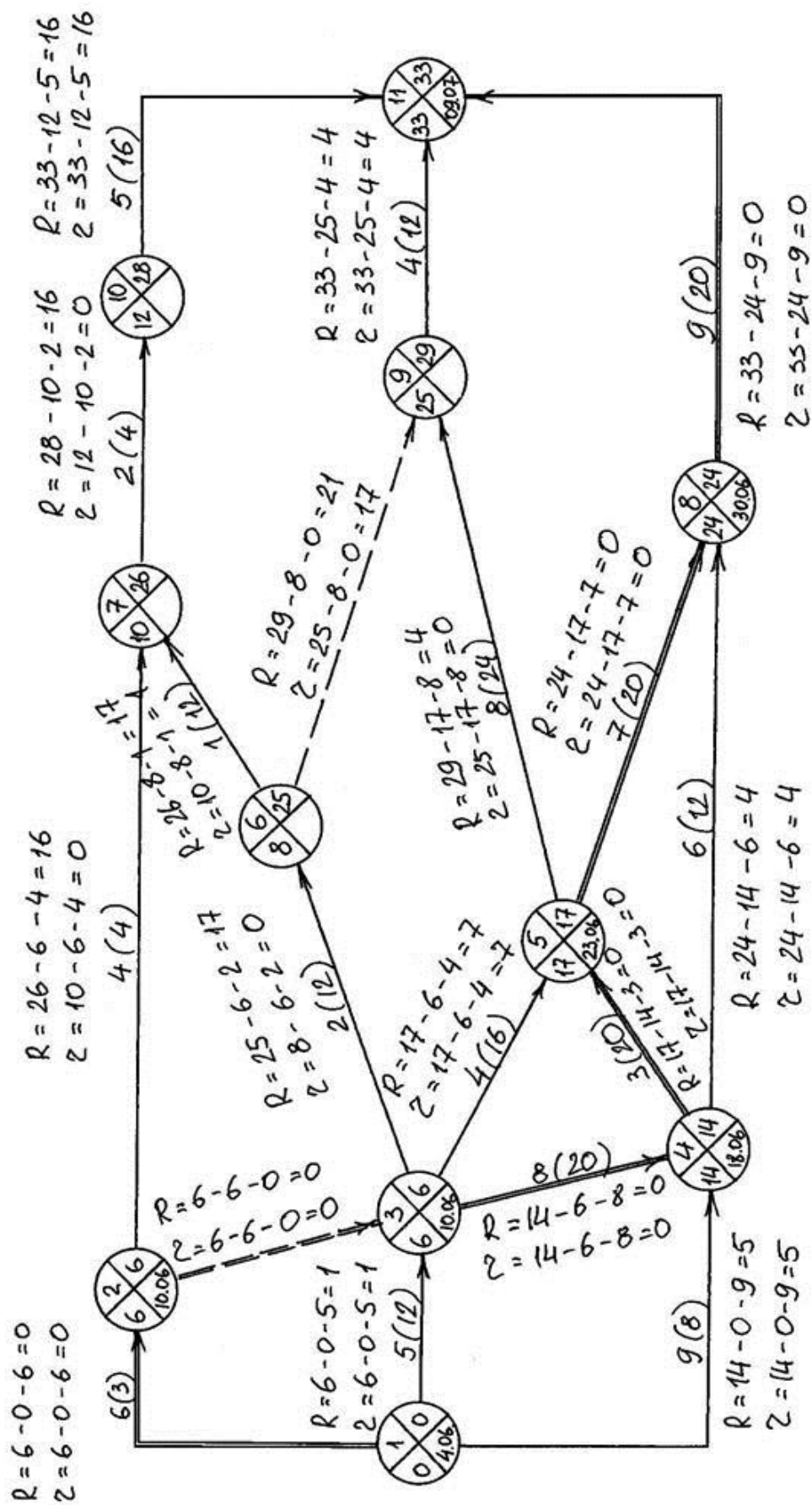


Рис. 7. Расчет сетевого графика секторным способом

### г) Табличный метод расчета параметров сетевого графика

Пример расчета временных параметров сетевого графика показан в таблице 1.

Таблица 1 – Табличный метод расчета сетевого графика

КПР	Код Работы (i,j)	Продолжительность работы t(i,j)	Ранние сроки		Поздние сроки		Резервы времени	
			т <sub>рн</sub> (i,j)	т <sub>ро</sub> (i,j)	т <sub>пн</sub> (i,j)	т <sub>по</sub> (i,j)	R <sub>п</sub>	R <sub>с</sub>
1	2	3	4	5=3+4	6=7-3	7	8=7-5 8=6-4	9
0	(1,2)	5	0	5	2	7	2	0
0	(1,3)	7	0	7	0	7	0	0
0	(1,5)	4	0	4	11	15	11	3
1	(2,4)	0	5	5	7	7	2	2
1	(2,6)	8	5	13	12	20	7	0
1	(3,4)	0	7	7	7	7	0	0
1	(3,5)	0	7	7	15	15	8	0
1	(3,8)	7	7	14	13	20	6	0
1	(3,9)	12	7	19	11	23	4	0
2	(4,7)	12	7	19	7	19	0	0
2	(5,10)	5	7	12	15	20	8	2
1	(6,11)	7	13	20	20	27	7	7
1	(7,9)	0	19	19	23	23	4	0
1	(7,11)	8	19	27	19	27	0	0
1	(8,9)	0	14	14	23	23	9	5
1	(8,10)	0	14	14	20	20	6	0
1	(8,11)	4	14	18	23	27	9	9
3	(9,11)	4	19	23	23	27	4	4
2	(10,11)	7	14	21	20	27	6	6

Перечень работ и их продолжительность с сетевого графика (предварительно упорядоченного) переносится во вторую и третью графы. При этом работы следует записывать в графу 2 последовательно: сначала начиная с номера 1, затем с номера 2 и т.д.

В первой графе поставим число, характеризующее количество непосредственно предшествующих работ (КПР) тому событию, с которого начинается рассматриваемая работа. Так, для работы (5,10) в графу 1 поставим число 2, т.к. на номер 5 оканчиваются 2 работы: (1,5) и (3,5).

Далее заполняем графы 4 и 5. Для работ, имеющих цифру 0 в графе 1, в графу 4 также заносятся нули, а их значения в графе 5 получаются в результате суммирования граф 3 и 4. В нашем случае для работ (1,2), (1,3), (1,5) в графе 4 ставим 0, а в графе 5 -  $0+5=5$ ,  $0+7=7$ ,  $0+4=4$ . Для заполнения следующих строк графы 4, т.е. строк начиная с номера 2, просматриваются

заполненные строки графы 5, содержащие работы, которые оканчиваются на этот номер, и максимальное значение переносится в графу 4 обрабатываемых строк. В данном случае такая работа одна - (1,2). Цифру 5 из графы 5 переносим в графу 4 для всех работ, начиная с номера 2, т.е. в две последующие строки с номерами (2,4) и (2,6). Для каждой из этих работ путем суммирования значений граф 3 и 4 сформируем значение графы 5:  $tr.o.(2,4)=0+5=5$ ,  $tr.o.(2,6)=8+5=13$ . Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет заполнена последняя строка таблицы.

Графы 6 и 7 заполняются “обратным ходом”, т.е. “снизу вверх”. Для этого просматриваются строки, оканчивающиеся на номер последнего события, и из графы 5 выбирается максимальная величина, которая записывается в графу 7 по всем строчкам, оканчивающимся на номер последнего события (т.к.  $tr(i) = tp(i)$ ). В нашем случае  $t(11)=27$ . Затем для этих строчек находится содержание графы 6 как разности граф 7 и 3. Далее просматриваются строки, оканчивающиеся на номер предпоследнего события, т.е. 10. Для определения графы 7 этих строк (работы (8,10) и (5,10)) просматриваются все строчки, начинающиеся с номера 10. В графу 6 среди них выбирается минимальная величина, которая переносится в графу 7 по обрабатываемым строчкам. В нашем случае она одна - (10,11), поэтому заносим в строчки (8,10) и (5,10) графы 7 цифру 20. Процесс повторяется до тех пор, пока не будут заполнены все строчки по графам 6 и 7.

Содержимое графы 8 равно разности граф 6 и 4 или граф 7 и 5.

Содержимое графы 9 вычисляется по формулам:

$$r_{ij} = t_{jk} (p.n.) - t_{ij} (p.n.) - t_{ij}$$

$$r(3,9) = tr.n(9,11) - tp.n(3,9) - t(3,9) = 19 - 7 - 12 = 0$$

$$\text{или } r_{ij} = t_{jk} (p.n.) - t_{ij} (p.o.)$$

$$r(3,9) = tr.n(9,11) - tp.o.(3,9) = 19 - 19 = 0$$

Учитывая, что резерва времени не имеют события и работы, которые принадлежат критическому пути, получаем критический путь (1,3,4,7,11).

Таблица 2 - Варианты индивидуальных заданий для расчетно-графической работы

Код работы	Продолжительность (дней)																					
	Номер варианта																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1-2	2	6	1	8	12	7	5	9	4	2	6	3	7	2	9	13	8	6	10	5	3	7
1-3	6	1	8	12	7	5	9	4	2	6	10	7	2	9	13	8	6	10	5	3	7	11
1-4	1	8	12	7	5	9	4	2	6	10	3	2	9	13	8	6	10	5	3	7	11	4
2-3	8	12	7	5	9	4	2	6	10	3	11	9	13	8	6	10	5	3	7	11	4	12
2-4	7	2	3	1	5	8	10	12	6	7	8	5	13	9	9	2	4	7	6	3	2	5
2-5	12	7	5	9	4	2	6	10	3	11	2	13	8	6	10	5	3	7	11	4	12	3
2-7	7	5	9	4	2	6	10	3	11	2	6	8	6	10	5	3	7	11	4	12	3	7
3-7	5	9	4	2	6	10	3	11	2	6	1	6	10	5	3	7	11	4	12	3	7	2
3-9	9	4	2	6	10	3	11	2	6	1	8	10	5	3	7	11	4	12	3	7	2	9
4-5	5	2	9	7	4	12	6	4	10	11	11	2	7	6	3	1	5	8	10	8	11	9
4-6	4	2	6	10	3	11	2	6	1	8	12	5	3	7	11	4	12	3	7	2	9	13
5-6	2	6	10	3	11	2	6	1	8	12	7	3	7	11	4	12	3	7	2	9	13	8
5-7	8	2	13	6	9	10	2	3	7	11	7	2	3	6	12	1	4	8	11	12	7	3

5-8	12	8	1	6	2	11	3	10	6	8	13	9	2	7	3	12	4	22	7	5	7	12
6-8	6	10	3	11	2	6	1	8	12	7	5	7	22	4	12	3	7	2	9	13	8	6
7-8	10	3	11	2	6	1	8	12	7	5	9	22	4	12	3	7	2	9	13	8	6	10
7-9	3	11	2	6	1	8	12	7	5	9	4	4	12	3	7	2	9	13	8	6	10	5
8-9	11	2	6	1	8	12	7	5	9	4	2	12	3	7	2	9	13	8	6	10	5	3

