

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Экономика и управление»

ПЛАНИРОВАНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов
специальности 1-25 01 07 «Экономика и управление на предприятии»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2018

УДК 658
ББК 65.29
П 37

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Экономика и управление» «17» января 2018 г.,
протокол № 5

Составитель канд. техн. наук, доц. Т. В. Пузанова

Рецензент канд. экон. наук, доц. М. С. Александренок

Методические рекомендации содержат методику проведения лабораторных работ для студентов специальности 1-25 01 07 «Экономика и управление на предприятии» и перечень рекомендуемой литературы.

Учебно-методическое издание

ПЛАНИРОВАНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Ответственный за выпуск	И. В. Ивановская
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Е. С. Лустенкова

Подписано в печать Формат 60×84 /16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. Уч.-изд. л. Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилёв.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2018



Содержание

1 Прогнозирование объемов производства на основе анализа рыночного спроса на продукцию.....	4
2 Планирование развития предприятия и определение необходимых издержек.....	4
3 Построение сетевого графика для комплекса работ.....	4
3.1 Сетевой график комплекса работ, порядок и правила его построения.....	4
4 Расчет временных параметров сетевого графика.....	9
4.1 Теоретическая часть.....	9
5 Разработка математической модели выполнения комплекса работ и проведение его анализа.....	17
5.1 Теоретическая часть.....	17
6 Планирование затрат на основе решения оптимизационной задачи по критерию стоимости для выполнения комплекса работ в заданный срок.....	19
6.1 Теоретическая часть.....	19
7 Планирование распределения ограниченных ресурсов на линейном графике для выполнения комплекса работ в минимальные сроки.....	22
7.1 Теоретическая часть.....	22
8 Планирование затрат на основе решения многокритериальной оптимизационной задачи с использованием эвристического алгоритма.....	24
8.1 Теоретическая часть.....	24
9 Планирование затрат ресурсов на основе решения оптимизационных задач с использованием встроенных средств Microsoft Excel.....	29
10 Оперативное планирование и управление процессом выполнения комплекса работ.....	30
Список литературы.....	30
Приложение А. Вопросы для защиты лабораторных работ.....	31



1 Прогнозирование объемов производства на основе анализа рыночного спроса на продукцию

Цель работы: осуществить прогноз объемов производства продукции предприятия различными методами с учетом оценки сезонности ее продаж.

Порядок выполнения работы

1 Провести анализ объемов производства продукции предприятия на основе собранной на производственной практике информации.

2 Выбрать и применить соответствующий метод прогнозирования для рассматриваемого варианта исходных данных.

3 Построить график прогнозируемых показателей.

4 Составить отчет, содержащий цель работы, промежуточные расчеты, табличные и графические результаты и выводы по работе (вопросы для защиты лабораторной работы приведены в приложении А).

2 Планирование развития предприятия и определение необходимых издержек

Цель работы: осуществить прогноз развития предприятия различными методами с применением известных традиционных методов принятия и обоснования плановых решений.

Порядок выполнения работы

1 Провести анализ собранной на производственной практике информации об основных технико-экономических показателях деятельности предприятия.

2 Выбрать и применить соответствующий традиционный метод обоснования и принятия плановых решений для прогноза возможного развития рассматриваемого предприятия.

3 Построить необходимые схемы, диаграммы и графики, отражающие прогнозируемые показатели развития предприятия.

4 Составить отчет, содержащий цель работы, промежуточные расчеты, табличные и графические результаты и выводы по работе (вопросы для защиты лабораторной работы приведены в приложении А).

3 Построение сетевого графика для комплекса работ

Цель работы: изучить основные понятия метода сетевого планирования и управления и методику построения сетевого графика комплекса работ.

3.1 Сетевой график комплекса работ, порядок и правила его построения

Сетевая модель представляет собой план выполнения некоторого комплекса взаимосвязанных работ (операций), заданный в специфической форме сети, графическое изображение которой называется *сетевым графиком*.



Главными элементами сетевой модели являются *события и работы*.

В сетевом планировании и управлении (СПУ) под работой понимается:

- 1) действительная работа – протяженный во времени процесс, требующий затрат ресурсов;
- 2) ожидание – протяженный во времени процесс, не требующий затрат труда;
- 3) зависимость или фиктивная работа – логическая связь между двумя или несколькими работами (событиями), не требующими затрат труда, материальных ресурсов или времени, (она указывает, что возможность одной работы непосредственно зависит от результатов другой; продолжительность фиктивной работы принимается равной нулю).

Событие – это момент завершения какого-либо процесса, отражающий отдельный этап выполнения комплекса взаимосвязанных работ (проекта). Исходное событие не имеет предшествующих работ и событий, относящихся к представленному в модели комплексу работ. Завершающее событие не имеет последующих работ и событий. События на сетевом графике изображаются в виде вершин графа, а работы – ребрами, показывающими связь между событиями.

Порядок построения сетевых графиков следующий.

Вначале планируемый процесс разбивается на отдельные работы, составляется перечень работ и событий, продумываются их логические связи и последовательность выполнения, работы закрепляются за исполнителями. С их помощью оценивается длительность каждой работы. Затем составляется сетевой график. После упорядочивания сетевого графика рассчитываются параметры событий и работ, определяются резервы времени и критический путь. Наконец, проводится анализ и оптимизация сетевого графика.

При построении сетевого графика необходимо соблюдать следующие правила.

1 В сетевой модели не должно быть событий, из которых не выходит ни одна работа, за исключением завершающего события.

2 В сетевом графике не должно быть событий (кроме исходного), которым не предшествует хотя бы одна работа.

3 В сети не должно быть замкнутых контуров и петель, т. е. путей, соединяющих некоторые события с ними же самими.

4 Любые два события должны быть непосредственно связаны не более чем одной работой.

При изображении параллельно выполняемых разных по содержанию и затрачиваемым ресурсам работ (рисунок 1, а) рекомендуется ввести фиктивное событие (событие 2' на рисунке 1, б) и фиктивную работу (работа (2',2)); при этом одна из параллельных работ (1,2') замыкается на это фиктивное событие. Фиктивные работы изображаются на графике пунктирными линиями.



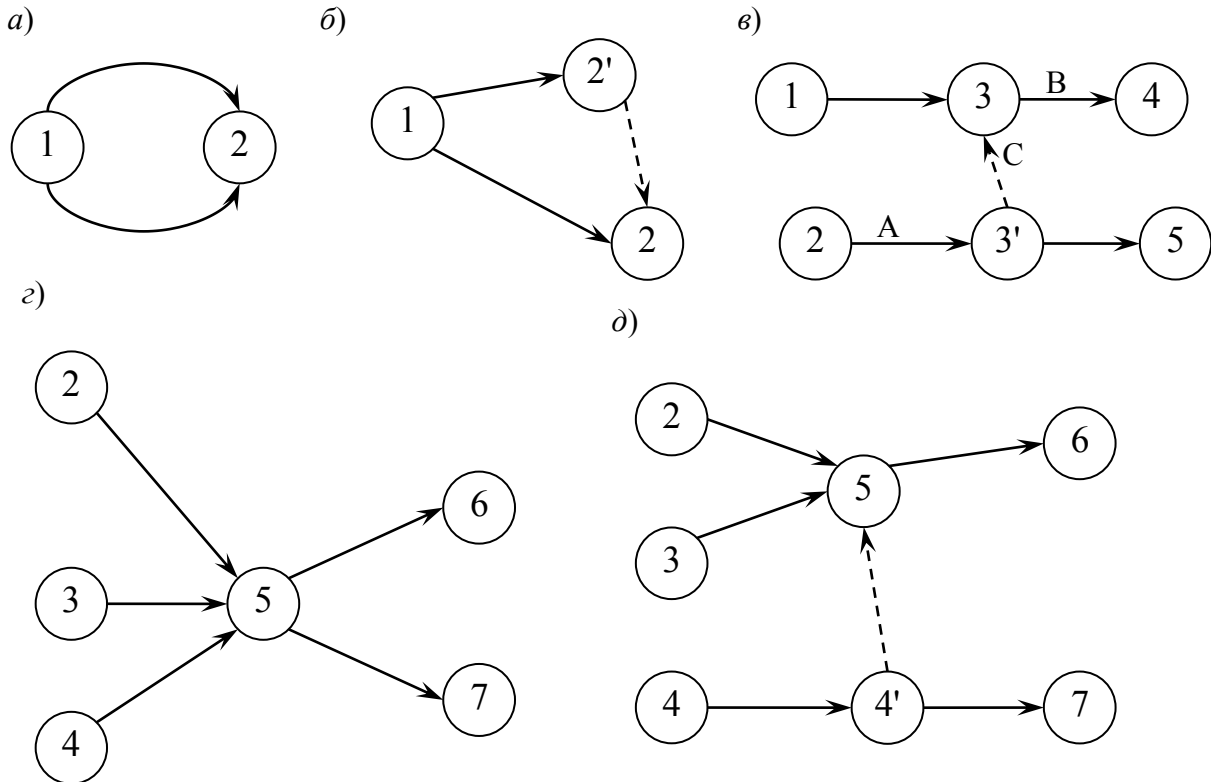


Рисунок 1 – Элементы сетевого графика

Отметим, что фиктивные работы и события необходимо вводить и в ряде других случаев. Например, для отражения зависимостей событий, не связанных реальными работами. Если работы А и В (см. рисунок 1, б) могут выполняться независимо друг от друга, но требуют одного и того же оборудования так, что работа В не может начаться, пока не освободится оборудование с окончанием работы А, то это обстоятельство требует введения фиктивной работы С.

При неполной зависимости работ, например, когда для выполнения одной из работ, пусть это работа (5,6) на рисунке 1, г, необходимо предварительно выполнить несколько иных (2,5), (3,5), (4,5), а для другой – (5,7), выходящей из общего для них события (5), предварительным условием является выполнение только одной из предыдущих – (4,5). В этом случае следует ввести фиктивное событие 4 и фиктивную работу (4',5) (рисунок 1, д).

5 Сетевой график должен быть полностью упорядоченным. 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.

Пример – Предположим, что при составлении некоторого проекта выделено 10 событий: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 и 17 связывающих их работ: (1,2), (1,3), (1,4), (2,3), (2,5), (3,6), (3,9), (4,3), (4,9), (5,7), (6,7), (6,8), (7,10), (8,7), (8,9), (8,10), (9,10). Необходимо составить и упорядочить сетевой график.

Как следует из перечня работ, исходным событием сетевого графика является событие 1 (ему не предшествуют никакие работы), а завершающим –

событие 10 (за ним не следует ни одна работа). Построим сетевой график от исходного события к завершающему, разместив между ними промежуточные события в определенном порядке, соответствующем их номерам (рисунок 2). Свяжем события работами-ребрами в соответствии с их перечнем. Полученный сетевой график удовлетворяет сформулированным ранее правилам, предъявляемым к его построению. Однако он не полностью упорядочен.

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-ребра направлены слева направо от событий с меньшими номерами к событиям с большими номерами.

Для упорядочения рассматриваемого сетевого графика разобьем множество его событий на уровни (слои) следующим образом.

Начальное событие 1 отнесем к событиям первого уровня. Для определения событий второго уровня вычеркнем мысленно из графика (см. рисунок 2) работы, выходящие из события 1. Тогда события 2 и 4 составят второй уровень сетевого графика, т. к. в них не входит ни одна работа-ребро. Вычеркнув работы, выходящие из событий 2 и 4, получим события 3 и 5, относящиеся к третьему уровню.

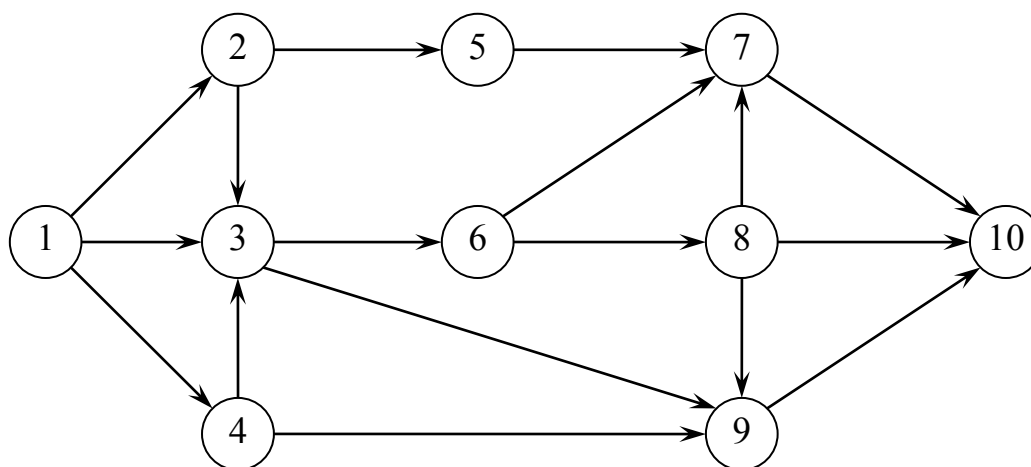


Рисунок 2 – Первоначальный вариант сетевого графика

Продолжая процедуру вычеркивания, получим четвертый уровень с событием 6, пятый – с событием 8, шестой – с событиями 7 и 9 и, наконец, седьмой – с событием 10. Получим частично упорядоченный сетевой график, т. к. событие 3 принадлежит третьему уровню и имеет номер меньше, чем событие 4 из второго уровня. То же можно сказать о событиях 8 и 7 (рисунок 3).

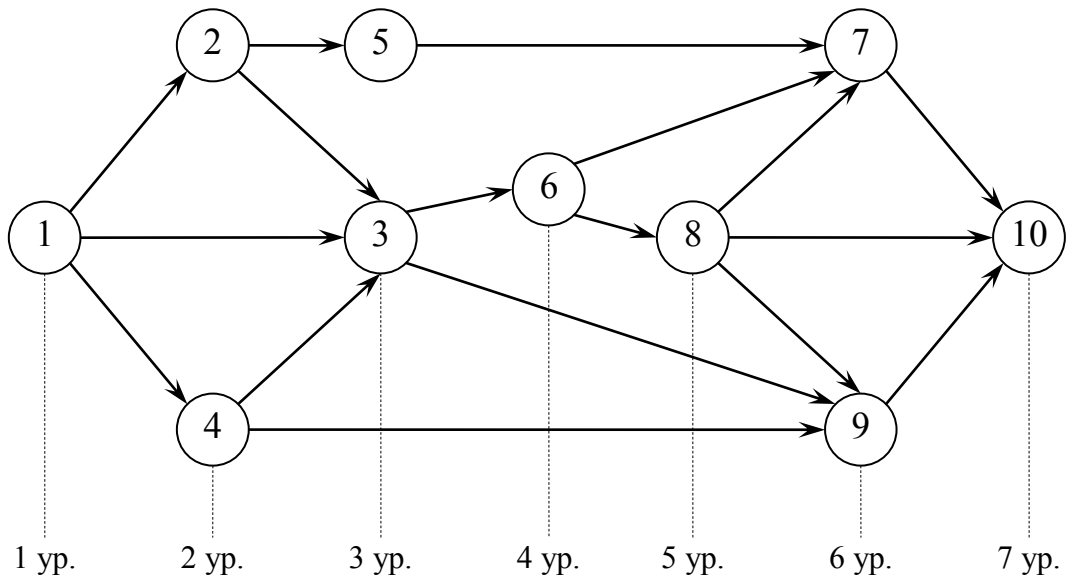


Рисунок 3 – Частично упорядоченный сетевой график

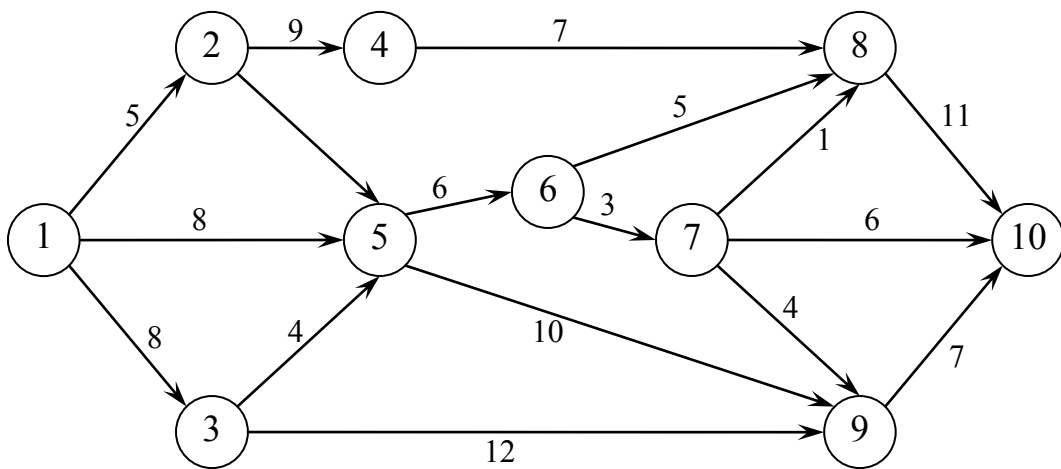


Рисунок 4 – Упорядоченный сетевой график

Изменив нумерацию событий в соответствии с их расположением на графике (см. рисунок 2), получим упорядоченный сетевой график (порядок нумерации событий одного уровня принципиального значения не имеет), в котором над ребрами указана продолжительность соответствующих работ (рисунок 4).

Определим понятие пути как любой последовательности работ, в которой конечное событие каждой работы совпадает с начальным событием следующей за ней работы. *Полный путь* – это любой путь, начало которого совпадает с исходным событием сети, а конец с завершающим.

Наиболее продолжительный путь в сетевом графике называется *критическим*. Критическими называются также работа и события, расположенные на этом пути. Продолжительность пути определяется суммой продолжительностей составляющих его работ. Для рассматриваемого сетевого графика (рисунок 4) полными путями будут:

- путь 1-2-4-8-10 продолжительностью $5 + 9 + 7 + 11 = 32$ сут;
- путь 1-3-5-6-8-10 продолжительностью $8 + 4 + 6 + 5 + 11 = 34$ сут;
- путь 1-5-6-7-9-10 продолжительностью $8 + 6 + 3 + 4 + 7 = 28$ сут;
- путь 1-3-5-9-10 продолжительностью $8 + 4 + 10 + 7 = 29$ сут и т. д.

Продолжительность критического пути 1-3-5-6-8-10 составляет 34 сут. Определив критический путь, тем самым можно установить критические события сети и критические работы.

Критический путь имеет особое значение в системе СПУ, т. к. работы этого пути определяют общий цикл завершения всего комплекса работ, планируемых при помощи сетевого графика. И для сокращения продолжительности проекта необходимо в первую очередь сокращать продолжительность работ, лежащих на критическом пути.

Порядок выполнения работы.

- 1 Ознакомиться с теоретической частью.
- 2 Описать комплекс взаимосвязанных работ любого назначения (не более 15...20 работ) с указанием времени выполнения каждой работы.
- 3 Для описанного варианта построить сетевой график комплекса работ и определить критический срок.
- 4 Составить отчет, содержащий описание комплекса в табличном виде, упорядоченный сетевой график с указанием времени выполнения каждой работы, перечень всех полных путей и выводы по работе (вопросы для защиты лабораторной работы приведены в приложении А).

4 Расчет временных параметров сетевого графика

Цель работы: изучить методику определения временных параметров сетевого графика и рассчитать их.

4.1 Теоретическая часть

В таблице 1 приведены основные временные параметры сетевых графиков. Рассмотрим содержание и расчет указанных параметров. Начнем с параметров *событий*.

Ранний (ожидаемый) срок $t_p(i)$ свершения i -го события определяется продолжительностью максимального пути, предшествующего этому событию:

$$t_p(i) = \max(t(L_{ni})), \quad (1)$$

где L_{ni} – любой путь, предшествующий i -му событию, т. е. путь от исходного до i -го события сети.



Таблица 1 – Основные временные параметры сетевых графиков

Элемент сети, характеризующий параметром	Наименование параметра	Условное обозначение параметра
Событие i	Ранний срок свершения события	$t_p(i)$
	Поздний срок свершения события	$t_n(i)$
	Резерв времени события	$R(i)$
Работа (i,j)	Продолжительность работы	$t(i,j)$
	Ранний срок начала работы	$t_{pn}(i,j)$
	Ранний срок окончания работы	$t_{po}(i,j)$
	Поздний срок начала работы	$t_{nn}(i,j)$
	Поздний срок окончания работы	$t_{no}(i,j)$
	Полный резерв времени работы	$R_n(i)$
	Частный резерв времени работы первого вида	$R_l(i,j)$
	Частный резерв времени работы второго вида или свободный резерв времени работы	$R_c(i,j)$
Путь	Независимый резерв времени работы	$R_n(i,j)$
	Продолжительность пути	$t(L)$
	Продолжительность критического пути	t_{kp}
	Резерв времени пути	$R(L)$

Если событие j имеет несколько предшествующих путей, а следовательно, и несколько предшествующих событий i , то ранний срок свершения события j удобно находить по формуле

$$t_p(j) = \max[t_p(i) + t(i,j)]. \quad (2)$$

Поздний (или предельный) срок $t_n(i)$ свершения i -го события определяется следующим образом:

$$t_n(i) = t_{kp} - \max(t(L_{ci})), \quad (3)$$

где L_{ci} – любой путь, следующий за i -м событием, т. е. путь от i -го до завершающего события сети.

Если событие i имеет несколько последующих путей, а следовательно, и несколько последующих событий j , то поздний срок свершения события i удобно находить по формуле

$$t_n(i) = \min[t_n(j) - t(i,j)]. \quad (4)$$

Резерв времени $R(i)$ i -го события определяется как разность между поздними и ранними сроками его свершения:

$$R(i) = t_n(i) - t_p(i). \quad (5)$$

Резерв времени события показывает, на какой допустимый период времени можно задержать наступление этого события, не вызывая при этом увеличения



срока выполнения комплекса работ.

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

Определив ранний срок наступления завершающего события сети, тем самым определяем длину критического пути, а выявив событие с нулевыми резервами времени, определяем его топологию.

Определим, например, временные параметры события и критический путь для сетевого графика, изображенного на рисунке 4. Результаты расчета временных параметров можно фиксировать прямо на графике. В этом случае параметры событий записываются в соответствующих вершинах графа путем разделения соответствующей геометрической фигуры на четыре части, а параметры работ – над соответствующими ребрами (рисунок 5). В этом случае отпадает необходимость составления таблиц.

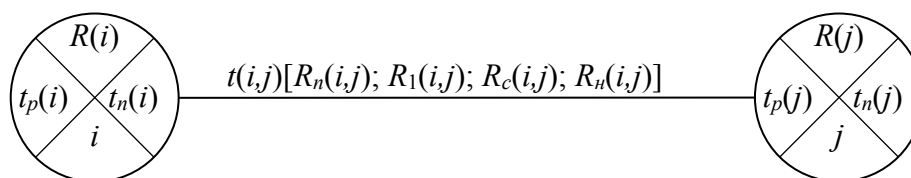


Рисунок 5 – Расположение временных параметров непосредственно на сетевом графике

При определении ранних сроков совершения событий $t_p(i)$ двигаемся по сетевому графику слева направо и используем формулы (1) и (2). Для первого события $i = 1$ очевидно $t_p(1) = 0$.

Для $i = 2$ $t_p(2) = t_p(1) + t(1,2) = 0 + 5 = 5$ сут, т. к. для события 2 существует только один предшествующий путь $L_{n2}: 1 \rightarrow 2$.

Для $i = 3$ $t_p(3) = t_p(1) + t(1,3) = 0 + 8 = 8$ сут, т. к. для события 3 существует только один предшествующий путь $L_{n3}: 1 \rightarrow 3$.

Для $i = 4$ $t_p(4) = t_p(2) + t(2,4) = 5 + 9 = 14$ сут, т. к. для события 4 существует только один предшествующий путь $L_{n4}: 1 \rightarrow 2 \rightarrow 4$.

Для $i = 5$ $t_p(5) = \max\{t_p(1) + t_p(1,5); t_p(2) + t_p(2,5); t_p(3) + t_p(3,5)\} = \max\{0+8; 5+3; 8+4\} = \max\{8; 8; 12\} = 12$ сут, т. к. для события 5 существует три предшествующих пути $L_{n5}: 1 \rightarrow 5, 1 \rightarrow 2 \rightarrow 5$ и $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5$ и три предшествующих события. Аналогично рассчитаем ранние сроки свершения остальных событий и запишем их в левой части каждой вершины сетевого графика (рисунок 6). Длина критического пути равна раннему сроку свершения завершающего события 10: $t_{kp} = t_p(10) = 34$ сут.

При определении поздних сроков свершения событий по сети в обратном направлении, т. е. справа налево, используем формулы (3) и (4). Для $i = 10$ (завершающего события) поздний срок свершения должен быть равен его раннему сроку (иначе изменится длина критического пути): $t_p(10) = t_p(10) = 34$ сут.

Для $i = 9$ $t_n(9) = t_n(8,10) = 34 - 7 = 27$ сут, т. к. для события 9 существует только один последующий путь L_{c9} : $9 \rightarrow 10$.

Для $i = 8$ $t_n(8) = t_n(8,10) = 34 - 11 = 23$ сут, т. к. для события 8 существует только один последующий путь L_{c8} : $8 \rightarrow 10$.

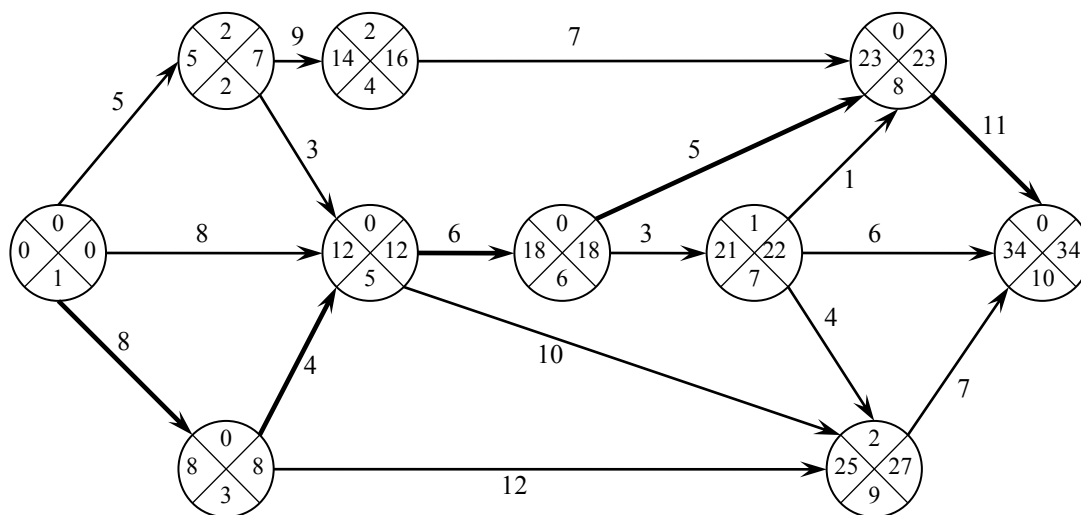


Рисунок 6 – Сетевой график с временными параметрами

Для $i = 7$ $t_n(7) = \min\{t_n(8) - t_n(7,8); t_n(9) - t_n(7,9); t_n(10) - t_n(7,10)\} = \min\{23-1; 27-4; 34-6\} = \min\{22, 23, 28\} = 22$ сут, т. к. для события 7 существуют три последующих пути L_{c7} : $7 \rightarrow 8 \rightarrow 10$, $7 \rightarrow 10$, $7 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ и три последующих события: 8, 9 и 10. Аналогично рассчитаем поздние сроки свершения остальных событий и поместим эти значения в правой части каждой вершины (см. рисунок 6).

По формуле (5) определим резервы времени i -го события:

$$R(1) = 0; R(2) = 7-5 = 2; R(3) = 8-8 = 0 \text{ и т.д.}$$

Резерв времени события 2 $R(2) = 2$ означает, что время свершения события 2 может быть задержано на 2 сут без увеличения общего срока выполнения проекта. Анализируя сетевой график с временными параметрами (рисунок 6), видим, что не имеют резервов времени события 1, 3, 5, 6, 8, 10. Эти события и образуют критический путь (на рисунке 6 он выделен жирным шрифтом).

На основе параметров событий определяются параметры *работ*. Отдельная работа может начаться (и оканчиваться) в ранние, поздние или другие промежуточные сроки. При оптимизации графика возможно любое размещение работы в заданном интервале.

Очевидно, что ранний срок $t_{pn}(i,j)$ начала работы (i,j) совпадает с ранним сроком наступления начального (предшествующего) события i , т. е.

$$t_{pn}(i,j) = t_p(i). \quad (6)$$

Тогда ранний срок $t_{po}(i,j)$ окончания работы (i,j) определяется по формуле

$$t_{po}(i,j) = t_p(i) + t(i,j). \quad (7)$$

Ни одна работа не может закончиться позже допустимого позднего срока своего конечного события j . Поэтому поздний срок $t_p(i,j)$ окончания работы (i,j) определяется соотношением

$$t_{no}(i,j) = t_n(j), \quad (8)$$

а поздний срок $t_{nn}(i,j)$ начала этой работы – соотношением

$$t_{nn}(i,j) = t_n(j) - t(i,j). \quad (9)$$

Среди резервов времени работ выделяют четыре их разновидности.

Полный резерв времени $R_n(i,j)$ работы (i,j) показывает, насколько можно увеличить время выполнения данной работы при условии, что срок выполнения комплекса работ не изменится. Полный резерв $R_n(i,j)$ определяется по формуле

$$R_n(i,j) = t_n(j) - t_p(i) - t(i,j). \quad (10)$$

Этим резервом можно располагать при выполнении данной работы, если ее начальное событие свершится в самый ранний срок, и можно допустить свершение ее конечного события в самый поздний срок (рисунок 7, а).

Остальные резервы времени работы являются частями полного ее резерва. Частный резерв времени первого вида $R_1(i,j)$ работы (i,j) есть часть полного резерва времени, на которую можно увеличить продолжительность работы, не изменив при этом позднего срока ее начального события. Этим резервом можно располагать при выполнении данной работы в предположении, что ее начальное и конечное события свершаются в свои самые поздние сроки (рисунок 7, б). $R_1(i,j)$ находят по формуле

$$R_1(i,j) = t_n(j) - t_n(i) - t(i,j) \quad (11)$$

или

$$R_1(i,j) = R_n(i,j) - R(i). \quad (12)$$

Частный резерв времени второго вида, или свободный резерв времени, $R_c(i,j)$ работы (i,j) представляет часть полного резерва времени, на которую можно увеличить продолжительность работы, не изменяя при этом раннего срока ее конечного события. Этим резервом можно располагать при выполнении данной работы в предположении, что ее начальное и конечное события свершаются в свои самые ранние сроки (рисунок 7, в).

$$R_c(i,j) = t_p(j) - t_p(i) - t(i,j) \quad (13)$$

или

$$R_c(i,j) = R_n(i,j) - R(j). \quad (14)$$



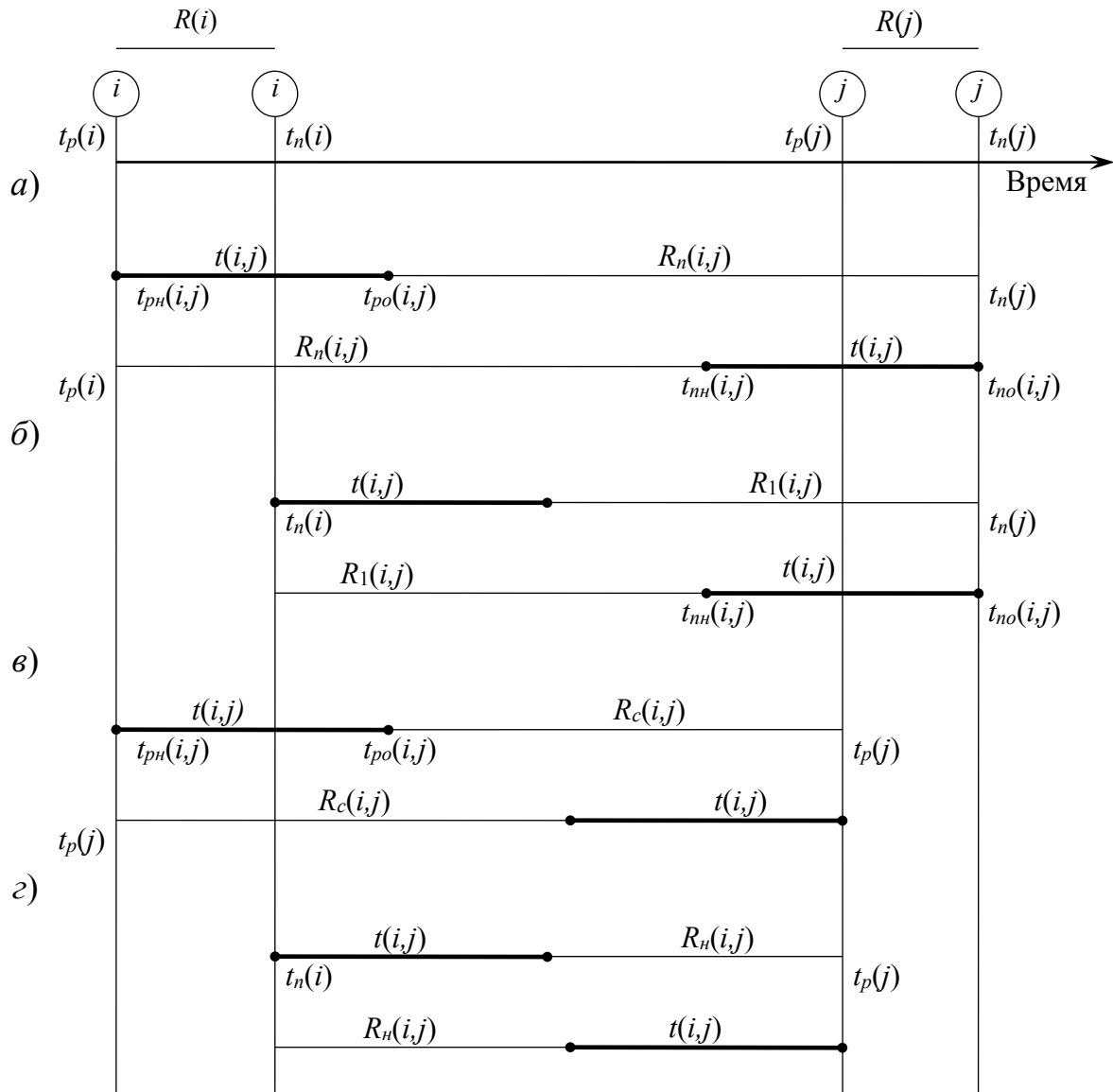


Рисунок 7 – Графическое изображение резервов времени событий и работ

Независимый резерв времени работы $R_n(i,j)$ есть часть полного резерва времени, получаемая для случая, когда все предшествующие работы заканчиваются в поздние сроки, а все последующие работы начинаются в ранние сроки (рисунок 7, г):

$$R_n(i,j) = t_p(j) - t_n(i) - t(i,j) \quad (15)$$

или

$$R_n(i,j) = R_n(i,j) - R(i) - R(j). \quad (16)$$

Независимые резервы стремятся использовать тогда, когда окончание предыдущей работы произошло в поздний допустимый срок, а последующие работы хотят выполнить в ранние сроки. Если величина независимого резерва, определяемая формулой (15) или (16), равна нулю или положительна, то такая возможность есть. Отрицательное значение $R_n(i,j)$ не имеет реального смысла,

т. к. в этом случае (i,j) работа еще не оканчивается, а последующая уже должна начаться. Фактически независимый резерв имеют лишь те работы, которые не лежат на максимальных путях, проходящих через их начальные и конечные события.

Таким образом, если частный резерв времени первого вида может быть использован на увеличение продолжительности данной и последующей работ без затрат резерва времени предшествующих работ, свободный резерв времени – на увеличение продолжительности данной и предшествующих работ без нарушения резерва времени последующих работ, то независимый резерв времени может быть использован для увеличения продолжительности только данной работы.

Резервы времени работы (i,j) могут состоять из двух временных отрезков, если интервал продолжительности работ $t(i,j)$ занимает промежуточную позицию между двумя его крайними положениями, изображенными на графиках.

Работы, лежащие на критическом пути, так же как и критические события, резервов времени не имеют.

Резерв времени пути $R(L)$ определяется как разность между длиной критического и рассматриваемого пути:

$$R(L) = t_{kp} - t(L). \quad (17)$$

Он показывает, насколько в сумме могут быть увеличены продолжительности всех работ, принадлежащих этому пути. Если затянуть выполнение работ, лежащих на этом пути, на время, большее, чем $R(L)$, то критический путь переместится на путь L .

Отсюда можно сделать вывод, что любая из работ пути L на его участке, не совпадающем с критическим путем (замкнутым между двумя событиями критического пути), обладает резервом времени.

В качестве примера результаты расчета временных параметров работ для сетевого графика (см. рисунок 6) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Временные параметры работ для сетевого графика

В сутках

Работа (i,j)	Продолжительность работы $t(i,j)$	Срок начала и окончания работы				Резервы времени работы			
		$t_{pn}(i,j)$	$t_{po}(i,j)$	$t_{nn}(i,j)$	$t_{no}(i,j)$	$R_n(i,j)$	$R_1(i,j)$	$R_c(i,j)$	$R_n(i,j)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(1,2)	5	0	5	2	7	2	2	0	0
(1,3)	8	0	8	0	8	0	0	0	0
(1,5)	8	0	8	4	12	4	4	4	4
(2,4)	9	5	14	7	16	2	0	0	–
(2,5)	3	5	8	9	12	4	2	4	2
(3,5)	4	8	12	8	12	0	0	0	0
(3,9)	12	8	20	25	27	7	7	5	5
(4,8)	7	14	21	16	23	2	0	2	0
(5,6)	6	12	18	12	18	0	0	0	0



Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(5,9)	10	12	22	17	27	5	5	3	3
(6,7)	3	18	21	19	22	1	1	0	0
(6,8)	5	18	23	18	23	0	0	0	0
(7,8)	1	21	22	22	23	1	0	1	0
(7,9)	4	21	25	23	27	2	1	0	–
(7,10)	6	21	27	28	34	7	6	7	6
(8,10)	11	23	34	23	34	0	0	0	0
(9,10)	7	25	32	27	34	2	0	2	0

Вычисление временных параметров работы (i,j) покажем на примере работы (2,4).

Ранний срок начала работы (см. формулу (6)): $t_{pn}(2,4) = t_p(2) = 5$ сут; ранний срок окончания работы (см. формулу (7)): $t_{po}(2,4) = t_p(2) + t(2,4) = 5 + 9 = 14$ сут; поздний срок начала работы (см. формулу (9)): $t_{nn}(2,4) = t_n(4) - t(2,4) = 16 - 9 = 7$ сут; поздний срок окончания работы (см. формулу (8)): $t_{no}(2,4) = t_n(4) = 16$ сут.

Таким образом, работа (2,4) должна начинаться в интервале [5;7] сут и оканчиваться в интервале [14;16] сут от начала выполнения проекта.

Полный резерв работы (2,4) определяется по формуле (10): $R_n(2,4) = t_n(4) - t_p(2) - t(2,4) = 16 - 5 - 9 = 2$ сут.

Частный резерв времени первого вида определяется по формуле (11): $R_1(2,4) = t_n(4) - t_n(2) - t(2,4) = 16 - 7 - 9 = 0$ сут или по формуле (12): $R_1(2,4) = R_n(2,4) - R(2) = 2 - 2 = 0$ сут, т. е. при сохранении общего срока выполнения проекта не может быть задержано выполнение работы (2,4) и последующих работ без затрат резерва времени предшествующих ей работ (в данном случае без затрат резерва времени одной предшествующей работы (1,2)).

Частный резерв времени второго вида, или свободный резерв времени, работы (2,4) найдем по формуле (13) или (14): $R_c(2,4) = t_p(4) - t_p(2) - t(2,4) = 14 - 5 - 9 = 0$ сут или $R_c(2,4) = R_n(2,4) - R(4) = 2 - 2 = 0$ сут, т. е. при сохранении общего срока выполнения проекта не может быть задержано выполнение работы (2,4) и предшествующих ей работ (в данном случае работы (1,2)) без нарушения резерва времени последующих работ.

Независимый резерв времени работы (2,4) определим по формуле (15) или (16): $R_n(2,4) = t_p(4) - t_n(2) - t(2,4) = 14 - 7 - 9 = -2$. Это означает, что работа (2,4) продолжительностью 9 сут должна закончиться на 14 сут после начала комплекса работ, а начаться – на 7 сут, что, естественно, невозможно. Поэтому в таблице 2 обозначены прочерком независимые резервы времени, имеющие отрицательное значение. Отметим, что резервы критических работ (1,3), (3,5), (5,6), (6,8), (8,10), так же как и резервы критических событий, равны нулю.

Порядок выполнения работы.

- 1 Ознакомиться с теоретической частью.
- 2 По построенному графику в лабораторной работе № 3 на основе



изученной методики рассчитать временные параметры сетевого графика.

3 Оформить отчет, содержащий полученные временные параметры событий, работ и путей в табличном виде (вопросы для защиты лабораторной работы приведены в приложении А).

5 Разработка математической модели выполнения комплекса работ и проведение его анализа

Цель работы: разработать математическую модель комплекса работ на основе сетевого графа в Microsoft Excel и провести на ее основе анализ сетевого графика.

5.1 Теоретическая часть

Анализ сетевого графика начинается с анализа топологии сети, включающего контроль правильности построения сетевого графика, установление целесообразности выбора работ и степени их расчленения. Затем проводится классификация и группировка работ по величинам резервов. Отметим, что величина полного резерва времени не всегда может достаточно точно характеризовать, насколько напряженным является выполнение той или иной работы критического пути. Все зависит от того, на какую последовательность работ распространяется вычисленный резерв, какова продолжительность этой последовательности.

Определить степень трудности выполнения в срок каждой группы работ не критического пути можно с помощью коэффициента напряженности работ.

Коэффициентом напряженности работы $K_n(i,j)$ называется отношение продолжительности несовпадающих (заключенных между одними и теми же событиями) отрезков пути, одним из которых является путь максимальной продолжительности, проходящий через данную работу, а другим – критический путь:

$$K_n(i,j) = (t(L_{\max}) - t'_{кр}) / (t_{кр} - t'_{кр}), \quad (18)$$

где $t(L_{\max})$ – продолжительность максимального пути, проходящего через работу (i,j) ;

$t_{кр}$ – продолжительность (длина) критического пути;

$t'_{кр}$ – продолжительность отрезка рассматриваемого пути, совпадающего с критическим путем.

Коэффициент напряженности работы можно определить и по следующей формуле:

$$K_n(i,j) = 1 - R_n(i,j) / (t_{кр} - t'_{кр}). \quad (19)$$

Этот коэффициент может изменяться в пределах от 0 (для работ, у которых отрезки максимального из путей, не совпадающие с критическим путем,



состоят из фиктивных работ нулевой продолжительности) до 1 (для работ критического пути).

В качестве примера рассчитаем коэффициент напряженности работы (6,7) сетевого графика (рисунок 6). Длина критического пути этого графика равна $t_{кр} = 34$ сут, а максимальный путь, проходящий через работу (6,7) – путь L_7 : $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 10$ – имеет продолжительность $t(L_{\max}) = t(L_1) = 33$ сут. Максимальный путь совпадает с критическим на отрезках $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6$ и $8 \rightarrow 10$, продолжительностью $t'_{кр} = 8 + 4 + 6 + 11 = 29$ сут. Но по формуле (19) найдем

$$K_n(6,7) = (33 - 29) / (34 - 29) = 4/5 = 0,8.$$

Или иначе, зная полный резерв работ $R_n(6,7) = 1$ (см. таблицу 2), по формуле (19) находим

$$K_n(6,7) = 1 - 1/5 = 1 - 0,2 = 0,8.$$

Чем ближе к 1 коэффициент напряженности $K_n(i,j)$, тем сложнее выполнить данную работу в установленные сроки. Чем он ближе к нулю, тем большим относительным резервом обладает максимальный путь, проходящий через данную работу.

Работы могут обладать одинаковыми полными резервами, но степень напряженности сроков их выполнения, выражаемая $K_n(i,j)$, может быть различна. Например, полные резервы работ (3,9) и (7,10) равны: $R_n(3,9) = R_n(7,10) = 7$ сут (см. таблицу 2), а их коэффициенты напряженности различны:

$$K_n(3,9) = (27 - 8) / (34 - 8) = 19/26 = 0,73;$$

$$K_n(7,10) = (27 - 18) / (34 - 18) = 9/16 = 0,56.$$

И наоборот, различным полным резервам могут соответствовать одинаковые коэффициенты напряженности.

Вычисленные коэффициенты напряженности позволяют дополнительно классифицировать работы по зонам. В зависимости от величины $K_n(i,j)$ выделяют три зоны: критическую ($K_n(i,j) > 0,8$); подкритическую ($0,6 \leq K_n(i,j) \leq 0,8$); резервную ($K_n(i,j) < 0,6$).

Порядок выполнения работы.

- 1 Ознакомиться с теоретической частью.
- 2 Для сетевого графика комплекса работ создать математическую модель в Microsoft Excel.
- 3 Провести анализ сетевого графика с применением коэффициента напряженности работ.

Отчетом является лист Microsoft Excel, содержащий математическую модель и результаты решения задачи анализа (вопросы для защиты лабораторной работы приведены в приложении А).



6 Планирование затрат на основе решения оптимизационной задачи по критерию стоимости для выполнения комплекса работ в заданный срок

Цель работы: определить минимально необходимое количество финансовых ресурсов для выполнения комплекса работ в заданный срок.

6.1 Теоретическая часть

Оптимизация сетевого графика представляет собой нахождение оптимального соотношения величин стоимости и сроков выполнения проекта. При этом предполагают, что уменьшение продолжительности работы пропорционально возрастанию ее стоимости. Каждая работа (i,j) характеризуется продолжительностью $t(i,j)$, которая может находиться в пределах

$$a(i,j) \leq t(i,j) \leq b(i,j), \quad (20)$$

где $b(i,j)$ – нормальная продолжительность выполнения работы (i,j) ;

$a(i,j)$ – минимально возможная (экстренная) продолжительность работы (i,j) , которую только можно осуществить в условиях разработки.

При этом стоимость $c(i,j)$ работы (i,j) заключена в границах от $c_{\min}(i,j)$ – при нормальной продолжительности работы до $c_{\max}(i,j)$ – при экстренной продолжительности работы.

Изменение стоимости работы $\Delta c(i,j)$ при сокращении ее продолжительности можно найти следующим образом:

$$\Delta c(i,j) = [b(i,j) - t(i,j)] h(i,j), \quad (21)$$

где $h(i,j)$ – величина, показывающая затраты на ускорение работы (i,j) (по сравнению с нормальной продолжительностью) на единицу времени.

Коэффициент затрат $h(i,j)$ на ускорение работы (i,j) определяется соотношением

$$h(i,j) = \frac{c_{\max}(i,j) - c_{\min}(i,j)}{b(i,j) - a(i,j)}. \quad (22)$$

Продолжительность каждой работы, имеющей резерв времени, можно увеличивать до тех пор, пока не будет исчерпан этот резерв или пока не будет достигнуто верхнее значение продолжительности $b(i,j)$. При этом стоимость выполнения проекта, равная до оптимизации

$$c = \sum_{i,j} c(i,j), \quad (23)$$



уменьшается на величину

$$\Delta c = \sum_{i,j} \Delta c(i, j) = \sum_{i,j} [b(i, j) - t(i, j)]h(i, j). \quad (24)$$

Оптимизация сетевого графика может быть выполнена по критериям стоимости и времени.

Задачами оптимизации сетевого графика являются минимизация времени выполнения комплекса работ при заданной его стоимости и минимизация стоимости комплекса работ при заданном времени выполнения проекта.

Проиллюстрируем решение последней оптимизационной задачи на примере сети (см. рисунок 4). Для решения задачи, кроме продолжительности работ $t(i, j)$ необходимо знать их граничные значения $a(i, j)$ и $b(i, j)$, а также показатели затрат на ускорение работ $h(i, j)$, вычисляемые по формуле (21). Продолжительность каждой работы (i, j) целесообразно увеличить на величину такого резерва, чтобы не изменить ранние (ожидаемые) сроки наступления всех событий сети, т. е. на величину свободного резерва времени $R_c(i, j)$. Значения резервов работ $R_c(i, j)$ были вычислены ранее (см. таблицу 2). Результаты оптимизации рассчитываемой сети представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты оптимизации сетевого графика по критерию времени

Работа (i, j)	Продолжительность работы, сут			Свободный резерв времени работы $R_c(i, j)$, сут	Стоимость работы $c(i, j)$, у. е.	Коэффициент затрат на ускорение работы $h(i, j)$, у. е./сут	Уменьшение стоимости проекта $\Delta c(i, j)$, у. е.
	$a(i, j)$	$t(i, j)$	$b(i, j)$				
1,5	4	8	10	4	54	6	2·6 = 12
2,5	1	3	6	4	61	9	3·9 = 27
3,9	8	12	14	5	28	8	2·8 = 16
4,8	5	7	11	2	34	14	2·14 = 28
5,9	7	10	15	3	65	12	3·12 = 36
7,8	1	1	3	1	48	5	1·5 = 5
7,10	3	6	8	7	42	10	2·10 = 20
9,10	4	7	9	2	37	7	2·7 = 14
Итого					369		158

В таблице представлены параметры только тех работ, которые имеют свободный резерв времени. Стоимости $c(i, j)$ остальных работ следующие:

$c(1,2) = 25$; $c(1,3) = 74$; $c(2,4) = 52$; $c(3,5) = 43$; $c(5,6) = 39$; $c(6,7) = 12$; $c(6,8) = 27$; $c(7,9) = 19$; $c(8,10) = 81$ у. е.

Жирным шрифтом в таблице выделены те работы, свободные резервы времени которых полностью использованы на увеличение их продолжительности.

Стоимость первоначального варианта сетевого графика по формуле (23) равна сумме стоимостей всех работ (включая и работы, не имеющие резервов и не включенные в таблицу 3):



$$c = 369 + 25 + 74 + 52 + \dots + 81 = 741 \text{ у. е.}$$

Стоимость нового плана: $c - \Delta c = 741 - 158 = 583 \text{ у. е.}$, т. е. уменьшилась почти на 21 %. Новый сетевой график представлен на рисунке 8.

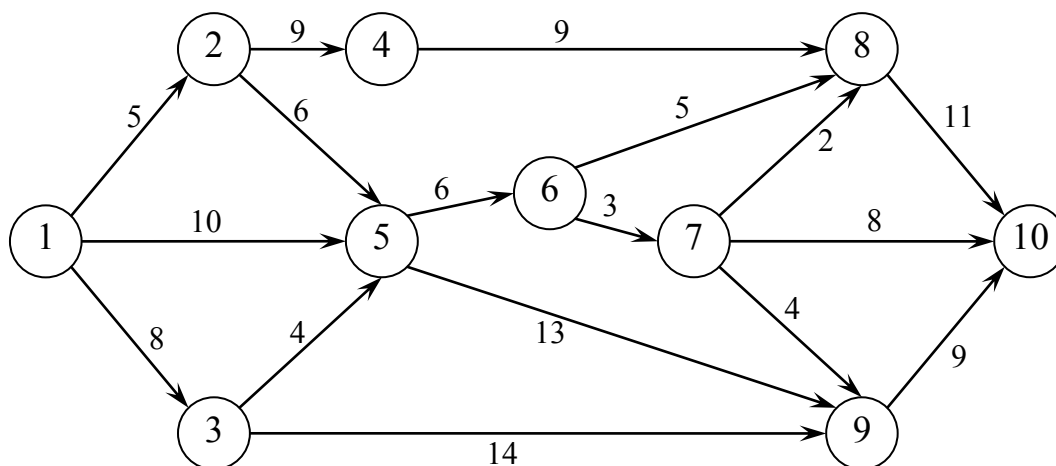


Рисунок 8 – Результат оптимизации сетевого графика

На полученном в результате оптимизации сетевом графике появились новые критические пути длиной 34 сут, например:

$1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 10$; $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 10$; $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 10$; $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 10$ и т. д.

Если бы верхние границы продолжительностей работ позволили полностью использовать резерв времени всех работ, представленных в таблице 3, то в новом плане все полные пути были бы критические.

Итак, в результате оптимизации сети пришли к плану, позволяющему осуществить выполнение комплекса работ в срок $t_{кр} = 34$ сут при минимальной его стоимости $c = 583 \text{ у. е.}$

Порядок выполнения работы.

1 Ознакомиться с теоретической частью.

2 На основе созданной модели в лабораторной работе № 5 осуществить постановку и решить оптимизационную задачу по критерию стоимости.

Отчетом является лист Microsoft Excel, содержащий математическую модель и результаты решения задачи оптимизации (вопросы для защиты лабораторной работы приведены в приложении А).

7 Планирование распределения ограниченных ресурсов на линейном графике для выполнения комплекса работ в минимальные сроки

Цель работы: определить минимально возможный срок выполнения комплекса работ при использовании ограниченных ресурсов.

7.1 Теоретическая часть

При анализе и оптимизации комплекса работ, наряду с сетевым графиком, с успехом применяется *линейный график*. Построить его можно по данному сетевому графику или матрице, которой он задан. Каждая работа (i, j) на линейном графике изображается в привязке к оси времени $0t$ прямолинейным отрезком, длина которого в выбранном масштабе равна продолжительности $t(i, j)$ ее выполнения. Поэтому время у отрезков не проставляется, но указывается интенсивность $r(i, j)$ потребления ресурса. Работы изображаются в той же последовательности, что и на сети.

По линейному графику можно найти критический срок, критические и не критические работы, а также полные $R_n(i, j)$ и свободные $R_c(i, j)$ резервы времени не критических работ. Чтобы проследить, как меняется интенсивность потребления ресурса в ходе работ, необходимо спроецировать на ось $0t$ начальные и конечные точки работ, получить временные промежутки постоянства интенсивности и просуммировать в этих промежутках интенсивности для работ, расположенных над ними. Таким образом, будет получена шкала потребления ресурса.

Одной из наиболее распространенных оптимизационных задач сетевого планирования является задача о сокращении срока выполнения комплекса работ при ограниченных ресурсах. Она возникает в случаях, когда для реализации комплекса работ в плановый срок имеющихся ресурсов недостаточно. В такой обстановке приходится пересматривать сроки выполнения работ, переносить отдельные работы, сдвигая их во времени. При этом продолжительность выполнения комплекса, как правило, увеличивается, в связи с чем требуется произвести работы в новые сроки при имеющихся ресурсах в минимально возможное время. Здесь возникает вопрос: какие же работы целесообразней отсрочить?

Для решения данной задачи можно использовать следующий эвристический алгоритм. Анализируя шкалу потребления ресурса линейного графика комплекса работ, выделяют первый слева временной промежуток, в котором суммарная потребность в ресурсе для одновременного производства всех работ, расположенных над ним, превышает имеющийся запас R ресурса.

Затем определяют работы, подлежащие отсрочке (сдвигу). Для этого все работы ранжируют по возрастанию полных резервов времени, а при их равенстве – по убыванию интенсивностей потребления ресурса. При этом первые ранги отдают работам, начатым ранее анализируемого промежутка (если таковые имеются). Далее нумеруют работы, начинающиеся в

анализируемом промежутке.

После упорядочения работ производят последовательное (по возрастанию рангов) суммирование интенсивностей r_{ij} потребления ресурса. Как только суммарная интенсивность превысит имеющийся запас R ресурса, слагаемое, вызвавшее превышение, отбрасывают, а соответствующую ему работу назначают к отсрочке на величину анализируемого промежутка, если работа начинается в этом промежутке, и до совмещения начала работы с моментом завершения анализируемого промежутка, если работа начинается левее его. После этого суммирование продолжают, пока вновь не обнаружится превышение R . И так до полного перебора всех работ над промежутком. Сроки выполнения работ, для которых суммарная интенсивность не превышает R , не меняются.

После завершения анализа производят преобразование линейного графика: сдвигают назначенные к отсрочке работы и работы, следующие за ними. Затем строят новую шкалу потребления ресурса. Этим завершается первый шаг оптимизационного процесса, в результате которого в рассмотренном временном промежутке потребление ресурса уже не превышает имеющегося запаса R .

Если на шкале потребления ресурса преобразованного линейного графика имеются промежутки, в которых суммарная потребность в ресурсе превышает R , то выполняют второй шаг оптимизационного процесса: выбирают самый левый из упомянутых промежутков и анализируют его аналогично предыдущему.

Описанную процедуру продолжают до тех пор, пока на шкале потребления ресурса не останется промежутков, в которых суммарное потребление превышает имеющийся запас R .

После завершения процесса оптимизации получают линейный график, по которому известным способом можно выделить критический путь. Он, как правило, отличается от критического пути исходного графика составляющими его работами. Изменится (увеличится) и продолжительность нового критического пути (критический срок). Это неизбежное следствие ограничения ресурса, используемого при производстве работ комплекса.

Рассмотренный эвристический метод оптимизации по времени комплекса работ, когда ресурсы ограничены, не обязательно точно минимизирует время выполнения комплекса работ, но обеспечивает достаточно хорошее приближение к нему.

Порядок выполнения работы.

- 1 Ознакомиться с теоретической частью.
- 2 Построить линейный график на основе разработанного сетевого графика в лабораторной работе № 3 и решить оптимизационную задачу по критерию времени.
- 3 Оформить отчет, содержащий цель работы, промежуточные шаги оптимизации, результат решения оптимизационной задачи и выводы по работе (вопросы для защиты лабораторной работы приведены в приложении А).



8 Планирование затрат на основе решения многокритериальной оптимизационной задачи с использованием эвристического алгоритма

Цель работы: определить минимально необходимые дополнительные финансовые ресурсы для сокращения срока выполнения комплекса работ.

8.1 Теоретическая часть

В реальных условиях выполнения проекта может потребоваться ускорение его выполнения, что, естественно, отразится на стоимости проекта, которая возрастет. Поэтому необходимо определить оптимальное соотношение между стоимостью проекта c и продолжительностью его выполнения $t = t_{кр}$, представленное, например, в виде функции $c = c(t)$.

Для оптимизации сетей и, в частности, для нахождения функции $c(t)$ могут быть использованы эвристические методы, т. е. методы, учитывающие индивидуальные особенности сетевых графиков.

В случае оптимизации при нефиксированной величине критического пути предположим, что сетевой график выполнения комплекса работ построен. Для каждой работы установлены ее наибольшие продолжительности $b(i,j)$ и минимальные затраты. Следовательно, продолжительность критического пути будет наибольшей, а стоимость выполнения проекта наименьшей (минимальной). Необходимо сократить критический путь до некоторого минимально возможного значения при минимальном возрастании стоимости выполнения всего комплекса работ.

Эвристический алгоритм оптимизации сетевого графика по критериям стоимости и времени сводится к следующему.

Предварительный шаг. Определяем коэффициенты затрат (КЗ) на ускорение работ. Зная продолжительность работ $t(i,j) = b(i,j)$, находим полные пути и критический путь и их длины, максимально возможные величины уменьшения продолжительности работ ($\Delta t(i,j) = b(i,j) - a(i,j)$) и стоимость выполнения проекта.

Шаг 1. Среди критических работ находим работу, для которой коэффициент затрат на ускорение работы $h(i,j)$ наименьший. Если найденная работа является общей для нескольких критических путей или если критический путь один, то такая работа подлежит сокращению. Если же эта работа не является для критических путей общей, однако пути имеют одну или несколько общих работ, то на каждом из них находим работу с наименьшим КЗ, подлежащую сокращению. Если критические пути не имеют общих работ, то на каждом из них находим работу с наименьшим КЗ.

Шаг 2. Производим сокращение продолжительности этой работы (этих работ) до тех пор, пока она (они) не достигнет (не достигнут) минимальной продолжительности $a(i,j)$ или пока не образуется новый критический путь.

Шаг 3. Для данного варианта сетевого графика определяем критический



путь и полные пути, их длины и изменение стоимости проекта.

Шаг 4. Проверяем, все ли работы критического пути достигли минимальной продолжительности. Если достигли, то действие алгоритма закончено, в противном случае переходим к шагу 1.

Рассмотрим эвристический метод оптимизации сетевого графика, изображенного на рисунке 9, в котором указаны максимально возможные продолжительности работ (сутки). Необходимые для оптимизации исходные данные представлены в таблице 4.

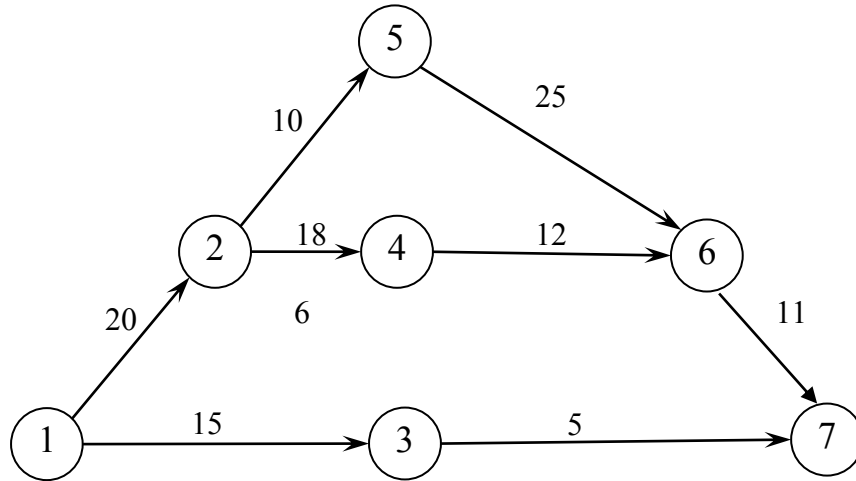


Рисунок 9 – Сетевой график, рассматриваемый в качестве примера оптимизации параметров по критериям времени и стоимости

Таблица 4 – Исходные данные для оптимизации сетевого графика

Номер работы	Работа (i,j)	Продолжительность работы, сут		Коэффициент затрат на ускорение работы $h(i,j)$	Стоимость работы $c(i,j)$ при $t(i,j) = b(i,j)$, у. е.
		$\min a(i,j)$	$\max b(i,j)$		
1	(1,2)	10	20	4	30
2	(1,3)	5	15	3	55
3	(2,4)	5	18	3	10
4	(2,5)	5	10	2	20
5	(3,7)	2	5	4	50
6	(4,6)	4	12	3	40
7	(5,6)	14	25	5	25
8	(6,7)	6	11	6	20
Итого					250

Предварительный шаг. Исходный для оптимизации план имеет максимальную продолжительность работ $t(i,j) = b(i,j)$ и, соответственно, минимальную стоимость $c = 250$ у. е.

Найдем все полные пути сетевого графика. Их три:

L_1 : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7$ продолжительностью $t(L_1) = 66$ сут;

L_2 : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7$ продолжительностью $t(L_2) = 61$ сут;

L_3 : $1 \rightarrow 3 \rightarrow 7$ продолжительностью $t(L_3) = 20$ сут.

Для удобства дальнейших расчетов представим эти пути графически в

виде цепочек работ (рисунок 10), в котором цифры над стрелками показывают коэффициенты затрат на ускорение работ $b(i,j)$, а под стрелками – максимально возможные величины уменьшения продолжительности работ

$$\Delta t(i,j) = b(i,j) - a(i,j).$$

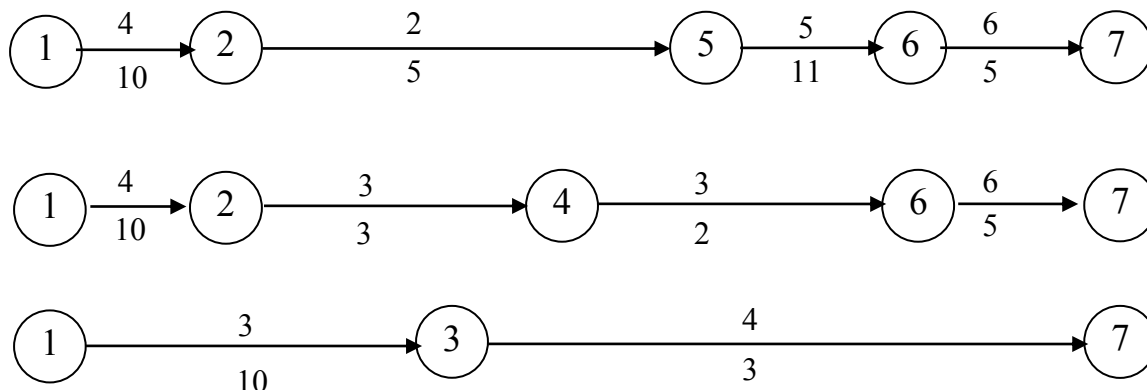


Рисунок 10 – Графическое изображение полных путей оптимизируемого сетевого графика

Первый шаг.

1 Уменьшить продолжительность выполнения комплекса работ можно только за счет сокращения продолжительности работ критического пути $t_{kp} = t(L_1)$. Из работ критического пути L_1 наименьший коэффициент затрат на ускорение $h(i,j)$ имеет работа (2,5):

$$h_{\min}(i,j) = \min\{h(1,2); h(2,5); h(5,6); h(6,7)\} = \min\{1, 2, 5, 6\} = 2, \\ \text{т. е. } h_{\min}(i,j) = h(2,5) = 2.$$

2 Сократить продолжительность работ (2,5) можно не более чем на 5 сут. При этом изменяется длительность только критического пути (66 до 61 сут), т. к. L_1 – единственный из трех путей, проходящий через работу (2,5).

3 Стоимость проекта за счет ускорения работы (2,5) с учетом формул (23) и (24) возрастет до $250 + 2 \cdot 5 = 260$ у. е. Оптимальное соотношение между стоимостью проекта c и продолжительностью его выполнения t , на первом шаге можно представить следующей формулой $c(t)$:

$$C = 250 + 2(66 - t), \text{ где } 61 < t < 66,$$

а новые длины путей равны $t(L_1) = t(L_2) = 61$ сут, $t(L_3) = 20$ сут.

4 Дальнейшее сокращение работы (2,5) невозможно, переходим к следующему шагу.

Второй шаг.

1 Теперь имеются два критических пути L_1 и L_2 и сократить срок выполнения проекта можно за счет одновременного сокращения их продолжительности. Сократить одновременно $t(L_1)$ и $t(L_2)$ можно, уменьшив продолжительность работ, лежащих на этих путях (см. рисунок 10): либо $t(1,2)$,

либо $t(6,7)$. Остановимся на $t(1,2)$, поскольку при этом обеспечивается минимум затрат на ускорение работы:

$$h_{\min}(i,j) = \min\{h(1,2); h(6,7)\} = \min\{1, 6\} = 4, \text{ т. е. } h_{\min}(i,j) = h(1,2) = 4.$$

2 Продолжительность работы (1,2) можно уменьшить не более чем на 10 сут. На эту величину уменьшатся длины критических путей $t(L_1)$ и $t(L_2)$, а следовательно, и срок выполнения проекта $t = t(L_1) = t(L_2)$.

3 Стоимость проекта увеличится с 200 до $260 + 4 \cdot 10 = 300$ у. е. Итак, на втором шаге

$$C = 260 + 4(61 - t), \text{ где } 51 < t < 61,$$

а новые длительности путей равны $t(L_1) = t(L_2) = 51$ сут, $t(L_3) = 20$ сут.

4 Продолжая аналогичным образом сокращать продолжительность работ, переходим к шагу 3.

Третий шаг.

1 Имеются два критических пути L_1 и L_2 , которые можно сократить одновременно, уменьшив продолжительность общей для них работы (6,7) на 5 сут.

2 Производим это сокращение.

3 Стоимость проекта увеличится с 300 до $300 + 6 \cdot 5 = 330$ у. е. На этом шаге получим

$$C = 360 + 6(51 - t), \text{ где } 46 < t < 51;$$

$t(L_1) = t(L_2) = 46$ сут, $t(L_3) = 20$ сут.

4 Так как не все работы критических путей достигли своей минимальной продолжительности, то переходим к следующему шагу.

Четвертый шаг.

1 Теперь несокращенными остались продолжительности трех критических работ: $t(5,6)$ – критического пути L_1 (которую можно сократить не более чем на 11 сут), а также $t(2,4)$ и $t(4,6)$ критического пути L_2 (их можно сократить на 3 и 8 сут соответственно). Сокращение какой-либо одной из названных величин не приведет к сокращению продолжительности выполнения проекта, т. к. при этом сократятся лишь один из двух путей, а длительность несокращенного пути, который станет единственным критическим путем, не изменится

$$h_{\min}(i,j) = \min\{h(5,6); h(2,4); h(4,6)\} = \min\{5,3,3\} = 3.$$

2 Поэтому, с учетом времени сокращения продолжительности работ, последовательно сокращаем $t(2,4)$ и $t(5,6)$.

3 Теперь коэффициент затрат на ускорение работ равен $h(2,4) + h(5,6) = 3 + 5 = 8$, а стоимость проекта увеличивается с 330 до $330 + 8 \cdot 3 = 354$ у. е. С учетом этого определяем

$$C = 330 + 8 \cdot (46 - t), \text{ где } 43 \leq t \leq 46;$$

$t(L_1) = t(L_2) = 43$ сут; $t(L_3) = 20$ сут.



4 Переходим к следующему шагу.

Пятый шаг.

Продолжительность работы (4,6) можно сократить еще на 8 сут. На тот же срок можно сократить продолжительность работы (5,6). Полагая, что $h(4,6) + h(5,6) = 3 + 5 = 8$, найдем, что стоимость проекта увеличится с 354 до $354 + 8 \cdot 8 = 418$ у. е. и

$$C = 345 + 8(43 - t), \text{ где } 35 \leq t \leq 43;$$

$t(L_1) = t(L_2) = 35$ сут; $t(L_3) = 20$ сут.

Все продолжительности работ критических путей L_1 и L_2 уменьшены до их минимальной продолжительности. График оптимальной зависимости $C(t)$ показан на рисунке 11.

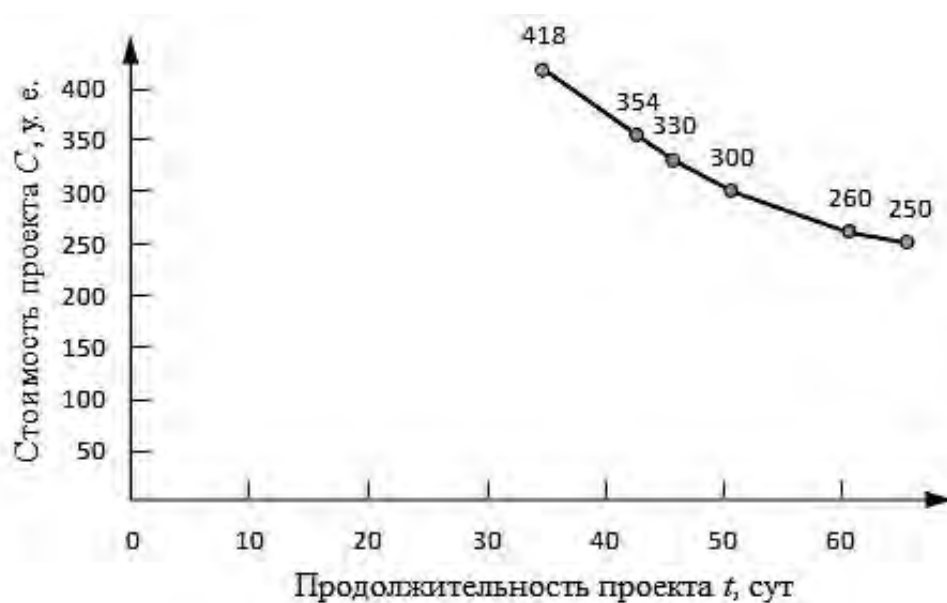


Рисунок 11 – График оптимальной зависимости стоимости комплекса работ от продолжительности его выполнения

Полученная на последнем шаге алгоритма зависимость позволяет, с одной стороны, оценить минимальную стоимость проекта при любом возможном сроке его выполнения, а с другой – найти предельную продолжительность выполнения проекта при заданной его стоимости. Например, при продолжительности проекта $t = 40$ сут минимальная стоимость выполнения рассматриваемого комплекса составит 378 у. е., а при стоимости выполнения комплекса, например, 514 у. е., предельная продолжительность проекта составит 23 сут. С помощью функции $C(t)$ можно оценить дополнительные затраты, связанные с сокращением сроков завершения комплекса. Например, сокращение продолжительности проекта с 40 до 23 сут потребует дополнительных затрат: $514 - 378 = 136$ у. е.

Возможен и другой эвристический алгоритм оптимизации сетевого графика. Можно, например, взять в качестве первоначального план, имеющий не максимальные, а минимальные продолжительности выполнения комплекса

работ $t(i,j) = a(i,j)$ и, соответственно, максимальную стоимость проекта, а затем последовательно увеличивать продолжительность выполнения комплекса работ путем увеличения продолжительности работ, расположенных на некритических, а затем и на критическом (-их) пути (-ях) в порядке убывания коэффициентов затрат $h(i,j)$.

Порядок выполнения работы.

1 Ознакомиться с теоретической частью.

2 Для разработанного сетевого графика в лабораторной работе № 3 решить многокритериальную оптимизационную задачу.

3 Построить график оптимальной зависимости стоимости комплекса работ от времени его выполнения по промежуточным результатам оптимизации.

4 Оформить отчет, содержащий цель работы, промежуточные шаги оптимизации, результат решения оптимизационной задачи, график оптимальной зависимости стоимости комплекса работ от времени его выполнения и выводы по работе (вопросы для защиты лабораторной работы приведены в приложении А).

9 Планирование затрат ресурсов на основе решения оптимизационных задач с использованием встроенных средств Microsoft Excel

Цель работы: определить минимально необходимые трудовые ресурсы для организации выполнения комплекса работ в заданный срок и распределить ограниченные ресурсы с целью определения минимально возможного срока.

Порядок выполнения работы.

1 На основе разработанной в Microsoft Excel математической модели в лабораторной работе № 5 осуществить постановку и решить оптимизационную задачу по критерию минимально необходимого количества трудовых ресурсов для организации комплекса работ в заданный срок.

2 На основе разработанной в Microsoft Excel математической модели в лабораторной работе № 5 осуществить постановку и решить оптимизационную задачу распределения имеющихся ограниченных ресурсов для выполнения комплекса работ в минимально возможный срок.

3 Построить линейный график в Microsoft Excel для комплекса работ и провести на его основе анализ влияния возможных задержек в ходе выполнения комплекса работ на срок его выполнения.

Отчетом является лист Microsoft Excel, содержащий математическую модель, результаты решения задач оптимизации и линейный график с результатами влияния возможных задержек в ходе выполнения комплекса работ (вопросы для защиты лабораторной работы приведены в приложении А).



10 Оперативное планирование и управление процессом выполнения комплекса работ

Цель работы: разработать математическую модель процесса выполнения комплекса работ с использованием разработанного на кафедре программного обеспечения и провести на полученной модели деловую игру по оперативному планированию комплекса работ и управлению ограниченными ресурсами.

Порядок выполнения работы

1 На основе использования указанного программного обеспечения сформировать математическую модель, учитывающую трудоемкость работ комплекса и трудовые ресурсы, необходимые для их выполнения, а также ряд экстренных ситуаций, моделирующих поломку оборудования и отсутствие работников на отдельных работах в процессе выполнения комплекса.

2 Провести деловую игру по управлению трудовыми ресурсами с целью выполнения комплекса работ в минимально возможные сроки на основе разработанной модели процесса выполнения.

3 Провести анализ полученных табличных и графических результатов процесса управления и выполнения комплекса работ в заданные плановые сроки. Вопросы для защиты лабораторной работы приведены в приложении А.

Список литературы

1 **Афитов, Э. А.** Планирование на предприятии (организации) : учебник / Э. А. Афитов. – Минск : Новое знание; Москва : ИНФРА-М, 2015. – 344 с.

2 **Золотогоров, В. Г.** Организация и планирование производства: практ. пособие / В. Г. Золотогоров. – Минск: ФУАинформ, 2001. – 528 с.

3 **Ильин, А. И.** Планирование на предприятии : учебное пособие / А. И. Ильин. – 9 стер. – Минск : Новое знание; Москва : ИНФРА-М, 2014. – 668 с.

4 **Новицкий, Н. И.** Сетевое планирование и управление производством: учебно-практическое пособие / Н. И. Новицкий. – Москва : Новое знание, 2004. – 159 с.

Приложение А (обязательное)

Вопросы для защиты лабораторных работ

Лабораторная работа № 1.

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Какие выводы можно сделать по результатам анализа объемов производства и реализации продукции?
- 3 Какие виды прогнозирования применяются при планировании показателей производственной программы?
- 4 Чем отличается прогнозирование показателей, имеющих сезонность, и показателей без сезонности?
- 5 Как учесть при прогнозе неопределенность рыночной среды?

Лабораторная работа № 2.

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Какие традиционные методы принятия и обоснования плановых решений применялись при выполнении лабораторной работы и почему?
- 3 Какие выводы можно сделать по полученным результатам?

Лабораторная работа № 3.

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Что представляет собой сетевая модель?
- 3 Как по описанию комплекса работ можно построить сетевой график?
- 4 Каковы основные компоненты сетевой модели?
- 5 Какие виды работ можно моделировать в сетевом графике?
- 6 Какие необходимо выполнить правила при построении сетевой модели?
- 7 Какова суть алгоритма упорядочивания сетевого графика?
- 8 Чем отличается путь сетевого графика от полного пути?
- 9 Как определить критический путь и что он показывает?
- 10 Сколько критических путей может быть в сетевом графике?
- 11 Что показывает критический срок?
- 12 Для чего необходимо разделять работы в сети на критические и некритические?

Лабораторная работа № 4.

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Назовите параметры событий сети.
- 3 Назовите параметры работ сети.
- 4 Назовите параметры путей сети.
- 5 Каковы особенности параметров критических и некритических событий?
- 6 Каковы особенности параметров критических и некритических работ?
- 7 Каковы особенности параметров критических и некритических путей?



Лабораторная работа № 5.

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Приведите необходимые тесты для проверки правильности разработанного сетевого графика с изменением длительности критической работы.
- 3 Приведите необходимые тесты для проверки правильности разработанного сетевого графика с изменением длительности некритической работы.
- 4 Что показывает коэффициент напряженности работы?
- 5 Как ранжируются работы сетевого графика по коэффициенту напряженности?

Лабораторная работа № 6.

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Осуществите математическую постановку оптимизационной задачи для комплекса работ по критерию стоимости.
- 3 Что является решением задачи оптимизации?
- 4 Почему при оптимизации используется свободный резерв времени?
- 5 Что показывает коэффициент затрат на ускорение работы?
- 6 Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.

Лабораторная работа № 7.

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Какие задачи можно решать на линейном графике?
- 3 Как построить линейный график по сетевому графику?
- 4 Осуществите математическую постановку оптимизационной задачи для рассматриваемого комплекса работ по критерию минимального срока реализации проекта.
- 5 Что является решением задачи оптимизации?
- 6 Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.

Лабораторная работа № 8.

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Осуществите математическую постановку многокритериальной оптимизационной задачи для комплекса работ по критерию минимального срока и минимальных дополнительных затрат.
- 3 Что является решением задачи оптимизации?
- 4 Охарактеризуйте назначение графика зависимости стоимости комплекса работ от его продолжительности, построенного по результатам оптимизации, и виды решаемых задач с его применением.
- 5 Определите графически и аналитически значение планового показателя срока реализации проекта (сметы затрат на реализацию) по заданному плановому показателю сметы затрат на реализацию (срока реализации проекта).
- 6 Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.



Лабораторная работа № 9.

1 Какова цель лабораторной работы?

2 Осуществите математическую постановку оптимизационной задачи для комплекса работ по критерию минимально необходимого количества трудовых ресурсов.

3 Что является решением задачи оптимизации?

4 Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.

5 Осуществите математическую постановку оптимизационной задачи для рассматриваемого в лабораторной работе экономического объекта по критерию минимального срока реализации проекта.

6 Что является решением задачи оптимизации?

7 Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.

8 Обоснуйте последовательность решения указанных задач при планировании реализации комплекса работ.

9 Какую информацию дает линейный график для решения задач сетевого планирования и управления?

Лабораторная работа № 10.

1 Какова цель лабораторной работы?

2 Какие выводы можно сделать на основе анализа линейного графика, построенного по результатам проведения деловой игры по управлению ограниченными трудовыми ресурсами?

3 Какие выводы можно сделать на основе анализа графика, отражающего темп выполнения работ проекта и построенного по результатам проведения деловой игры по управлению ограниченными трудовыми ресурсами?

4 Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.

