

Министерство образования Республики Беларусь
Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Экономика и управление»

ПЛАНИРОВАНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИИ

*Методические рекомендации
к лабораторным работам для студентов
направления подготовки 27.03.05 Инноватика*

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

Содержат методику проведения лабораторных работ для студентов
направления подготовки 27.03.05 «Инноватика», изложенных по темам в
соответствии с рабочей программой, и перечень рекомендуемой литературы.

Учебно-методическое издание

ПЛАНИРОВАНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Ответственный за выпуск	И. В. Ивановская
Технический редактор	А. Т. Червинская
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60x84 /16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 30 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 для комплекса работ	6
4.1	Теоретическая часть.....	6
5	Разработка математической модели выполнения комплекса работ и проведение его анализа.....	14
5.1	Теоретическая часть.....	14
6	Планирование затрат на основе решения оптимизационной задачи по критерию стоимости для выполнения комплекса работ в заданный срок.....	16
6.1	Теоретическая часть.....	16
7	Планирование распределения ограниченных ресурсов на линейном графике для выполнения комплекса работ в минимальные сроки.....	19
7.1	Теоретическая часть.....	19
8	Планирование затрат на основе решения многокритериальной оптимизационной задачи с использованием эвристического алгоритма.....	21
8.1	Теоретическая часть.....	21
9	Планирование затрат ресурсов на основе решения оптимизационных задач с использованием встроенных средств Microsoft Excel.....	26
	Список литературы	27
	Приложение А. Вопросы для защиты лабораторных работ	28

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 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 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.

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

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

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

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

На рисунке 1 приведен пример упорядоченного сетевого графа.

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 1) 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.

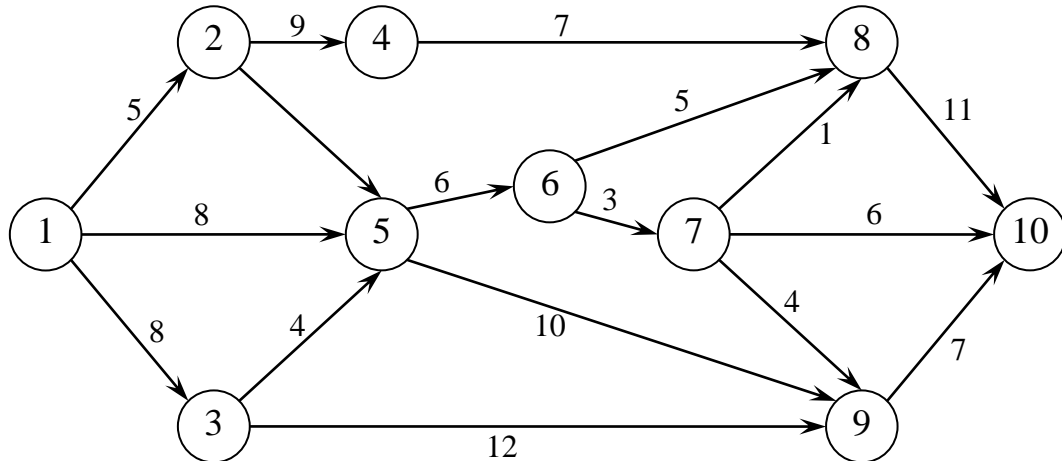


Рисунок 1 – Упорядоченный сетевой график

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 для комплекса работ

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*.

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	$t_p(i)$ $t_n(i)$ $R(i)$
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 Частный резерв времени работы первого вида Частный резерв времени работы второго вида или свободный резерв времени работы Независимый резерв времени работы	$t(i,j)$ $t_{pn}(i,j)$ $t_{po}(i,j)$ $t_{nn}(i,j)$ $t_{no}(i,j)$ $R_n(i)$ $R_l(i,j)$ $R_c(i,j)$ $R_n(i,j)$
Путь	Продолжительность пути Продолжительность критического пути Резерв времени пути	$t(L)$ $t_{кр}$ $R(L)$

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 -ому событию, т.е. путь от исходного до i -го события сети.

Если событие j имеет несколько предшествующих путей, а, следовательно, 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 равен

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

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

Если событие i имеет несколько последующих путей, а следовательно, 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 1. Результаты расчета временных параметров можно фиксировать прямо на графике. В этом случае параметры событий записываются в соответствующих вершинах графа, путем деления соответствующей геометрической фигуры на четыре части, а параметры работ - над соответствующими ребрами (рисунок 2). В этом случае отпадает необходимость составления таблиц.

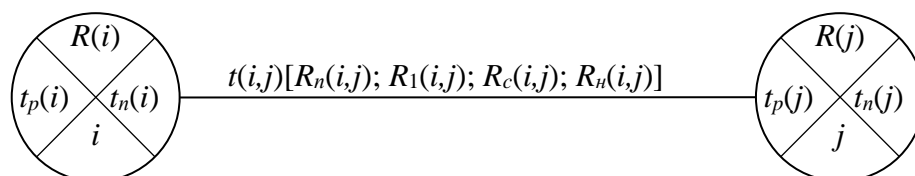


Рисунок 2 – Расположение временных параметров непосредственно на сетевом графике

При определении ранних сроков совершения событий $t_p(i)$ двигаемся по сетевому графику слева направо и используем формулу (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 3). 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): $t_p(10) = t_n(10) = 34$ (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 $L_{c8}: 8 \rightarrow 10$.

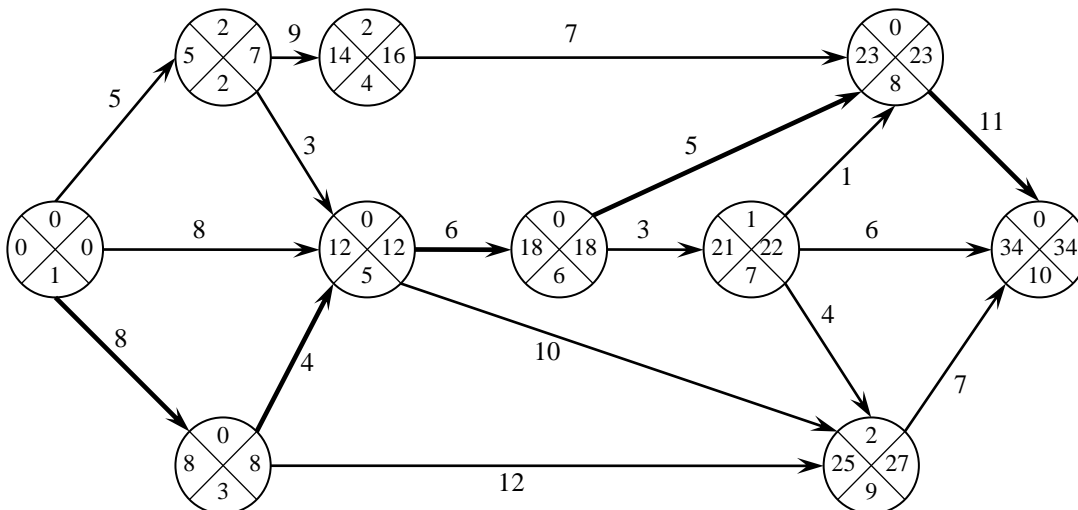


Рисунок 3 – Сетевой график с временными параметрами

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 (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 суток без увеличения общего срока выполнения проекта. Анализируя сетевой график с временными параметрами (рисунок 6), видим, что не имеет 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 окончиться 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 4, 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 4, б). $R_1(i,j)$ находится 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

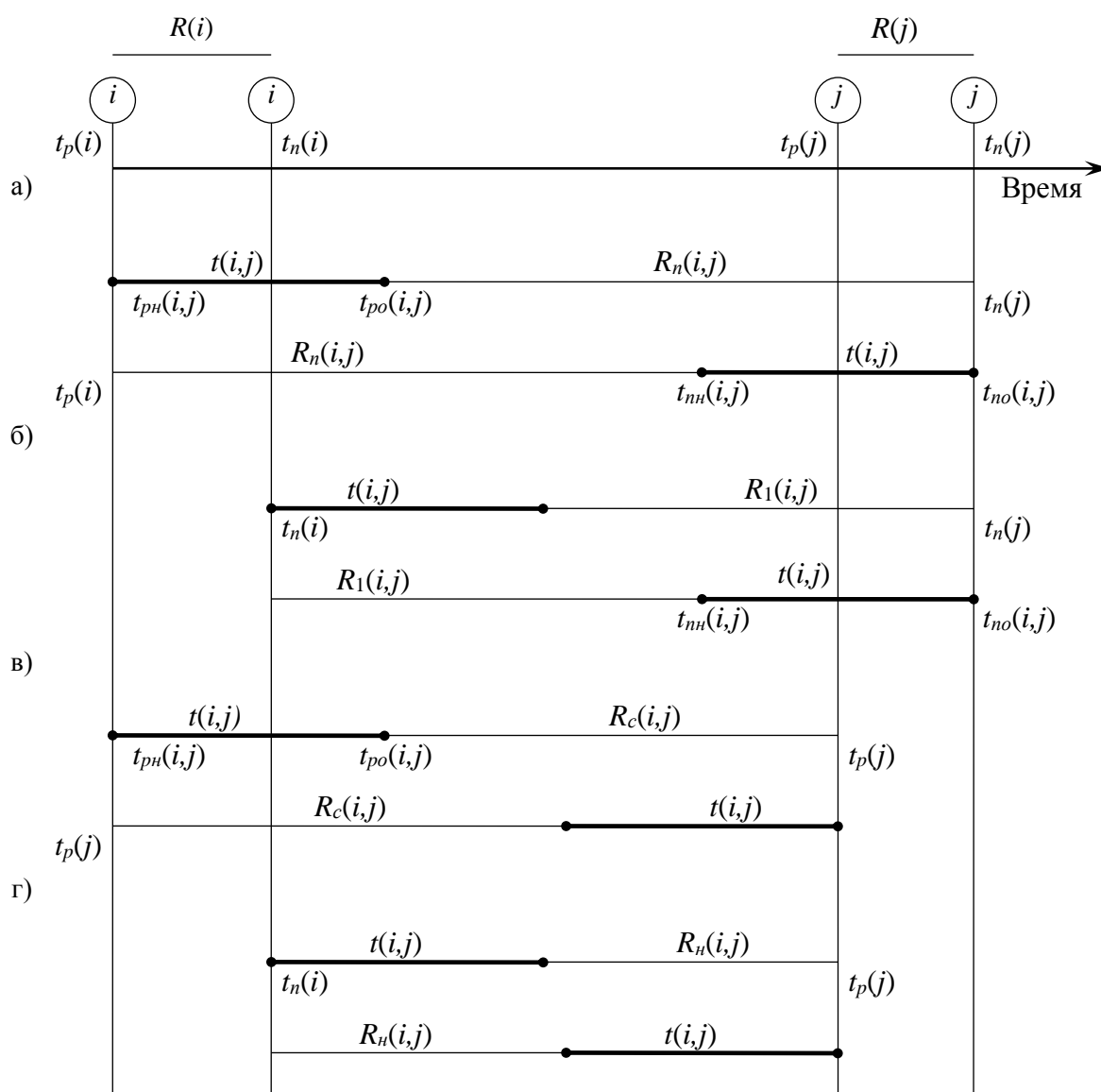


Рисунок 4 – Графическое изображение резервов времени событий и работ

при выполнении данной работы в предположении, что ее начальное и конечное события свершаются в свои самые ранние сроки (рисунок 4, в).

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

или

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

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 4, 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 формулами (15) или (16), равна нулю или положительна, то такая возможность есть. Отрицательное значение $R_n(i,j)$ не имеет реального смысла, так как 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 (рисунок 6) приведены в таблице 2.

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

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

Таким образом, работа $(2,4)$ должна начинаться в интервале $[5;7]$ (сут.) и закончиться 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.).

Таблица 2 – Временные параметры работ для сетевого графика

В сутках

Работа (i,j)	Продолжительность работы $t(i,j)$	Сроки 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)	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
(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

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 (суток) должна закончиться на 14 сутки после начала комплекса работ, а начаться – на 7 сутки, 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 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 Анализ сетевого графика на основе математической модели комплекса работ

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 $t(L_{\max}) = t(L_1) = 33$ (суткам). 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 $R_n(6,7) = 1$ (таблица 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.) (таблица 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;
- 4) 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: определение минимально необходимого количества 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: 1) минимизация времени выполнения комплекса работ при заданной его стоимости; 2) минимизация стоимости комплекса работ при заданном времени выполнения проекта.

Проиллюстрируем решение последней оптимизационной задачи на примере сети (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 (таблица 2). Результаты оптимизации рассчитываемой сети представлены в таблице 3.

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

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

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

Таблица 3 - Результаты оптимизации сетевого графика по критерию времени

№	Работа (i,j)	Продолжительность работы, сут.			Свободный резерв времени работы, сут. $R_c(i,j)$	Стоимость работы $c(i,j)$, усл.ед.	Коэффициент затрат на ускорение работы $h(i,j)$, усл.ед./сут.	Уменьшение стоимости проекта $\Delta c(i,j)$, усл. ед.
		$a(i,j)$	$t(i,j)$	$b(i,j)$				
1	1,5	4	8	10	4	54	6	$2 \cdot 6 = 12$
2	2,5	1	3	6	4	61	9	$3 \cdot 9 = 27$
3	3,9	8	12	14	5	28	8	$2 \cdot 8 = 16$
4	4,8	5	7	11	2	34	14	$2 \cdot 14 = 28$
5	5,9	7	10	15	3	65	12	$3 \cdot 12 = 36$
6	7,8	1	1	3	1	48	5	$1 \cdot 5 = 5$
7	7,10	3	6	8	7	42	10	$2 \cdot 10 = 20$
8	9,10	4	7	9	2	37	7	$2 \cdot 7 = 14$
	Итого					369		158

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):

$$c = 369 + 25 + 74 + 52 + \dots + 81 = 741 \text{ (усл.ед.)}$$

Стоимость нового плана равна: $c - \Delta c = 741 - 158 = 583$ (усл.ед.), т.е. уменьшилась почти на 21 %. Новый сетевой график представлен на рисунке 5.

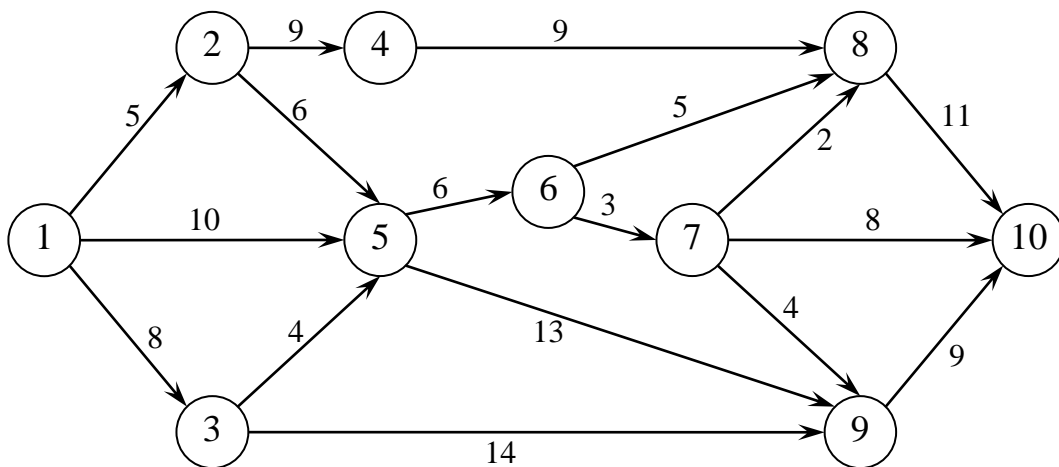


Рисунок 5 – Результат оптимизации сетевого графика

На полученном в результате оптимизации сетевом графике появились новые критические пути длиной 34 (суток), 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 $c = 583$ усл. ед.

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;
- 3) 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: определение минимально возможного срока 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: определение минимально необходимых дополнительных финансовых ресурсов 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.

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 она и 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.

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

3 Для данного варианта сетевого графика определяем критический путь и полные пути, их длины и изменение стоимости проекта.

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

Рассмотрим эвристический метод оптимизации сетевого графика, изображенного на рисунке 6, в котором указаны максимально возможные продолжительности работ (сут.). Необходимые для оптимизации исходные данные представлены в таблице 4.

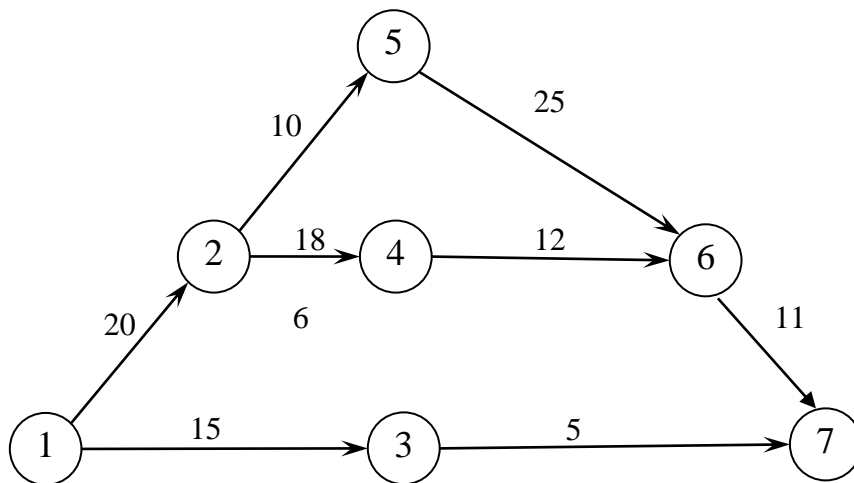


Рисунок 6 - Сетевой график, рассматриваемый в качестве примера оптимизации параметров по критериям времени и стоимости

Предварительный шаг.

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

Найдем все полные пути сетевого графика. Их три:

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

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

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

Таблица 4 - Исходные данные для оптимизации сетевого графика

№	Работа (i,j)	Продолжительность работы в сутках		Коэффициент затрат на ускорение работы $h(i,j)$	Стоимость работы $c(i,j)$ при $t(i,j) = b(i,j)$ (в усл. р.)
		$\min a(i,j)$	$\max b(i,j)$		
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

Для удобства дальнейших расчетов представим эти пути графически в виде цепочек работ (рисунок 7), в котором цифры над стрелками показывают коэффициенты затрат на ускорение работ $b(i,j)$, а под стрелками – максимально возможные величины уменьшения продолжительности работ $\Delta t(i,j) = b(i,j) - a(i,j)$.

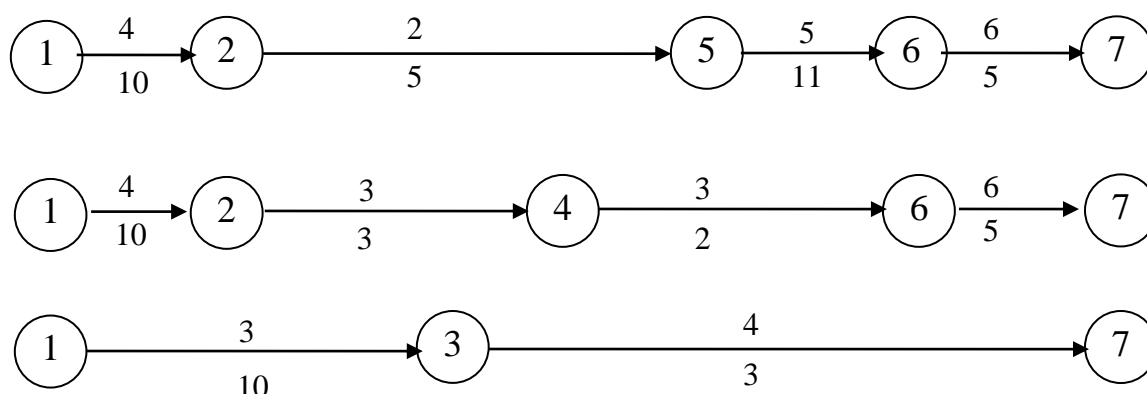


Рисунок 7 - Графическое изображение полных путей оптимизируемого сетевого графика

Первый шаг.

1 Уменьшить продолжительность выполнения комплекса работ можно только за счет сокращения продолжительности работ критического пути $tkp =$

$t(L_1)$. 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 суток. При этом изменяется длина только критического пути (66 до 61 суток), 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 $250 + 2 \cdot 5 = 260$ (усл. ед.). 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 имеется два критических пути L_1 и L_2 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 (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 суток. 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 $260 + 4 \cdot 10 = 300$ (усл. ед.). Итак, на втором шаге:

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

а новые длины путей равны $t(L_1) = t(L_2) = 51$ (сутки), $t(L_3) = 20$ (суток).

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 суток.

2 Производим это сокращение.

3 Стоимость проекта увеличится с 300 до $300 + 6 \cdot 5 = 330$ (усл. ед.). 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 Т.к. 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 суток соответственно). Сокращение какой-либо одной из названных величин не приведет к сокращению продолжительности выполнения проекта, ибо при этом сократится лишь один из двух путей, а длина 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 $330 + 8 \cdot 3 = 354$ (усл. р.). С учетом этого определяем:

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

$$t(L_1) = t(L_2) = 43 \text{ (сут.)}$$

$$t(L_3) = 20 \text{ (сут.)}$$

4 Переходим к следующему шагу.

Пятый шаг

Продолжительность работы (4,6) можно сократить еще на 8 суток. 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 $354 + 8 \cdot 8 = 418$ (усл. р.) и

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

$$t(L_1) = t(L_2) = 35 \text{ (сут.); } t(L_3) = 20 \text{ (сут.)}$$

Все продолжительности работ критических путей L_1 и L_2 уменьшены до их минимальной продолжительности. График оптимальной зависимости $c(t)$ показан на рисунке 8.

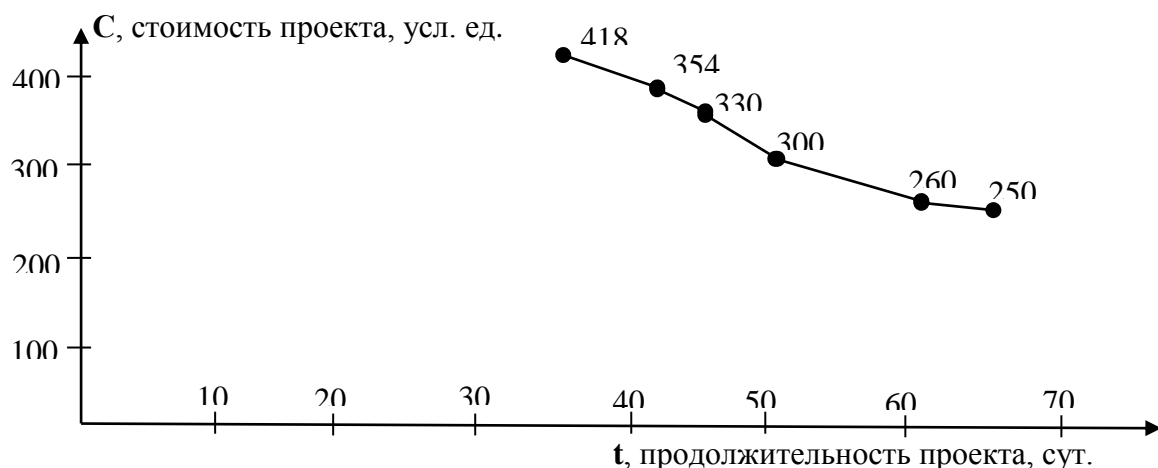


Рисунок 8 - График оптимальной зависимости стоимости комплекса работ от продолжительности его выполнения

Полученная на последнем шаге алгоритма зависимость позволяет, с одной стороны, оценить минимальную стоимость проекта при любом возможном сроке его выполнения, а с другой стороны – найти предельную продолжительность выполнения проекта при заданной его стоимости. Например, при продолжительности проекта $t = 40$ суток минимальная стоимость выполнения рассматриваемого комплекса составит 378 усл. ед., а при стоимости выполнения комплекса, скажем, 514 усл. ед., 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 суток потребует дополнительных затрат $514 - 378 = 136$ (усл. ед.).

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 не критических, 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;
- 3) 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: определение минимально необходимых трудовых ресурсов для организации выполнения комплекса работ в заданный срок и распределение ограниченных ресурсов 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;

4) 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).

Список литературы

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

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

3 **Ильин, А. И.** Планирование на предприятии : Учебное пособие / А. И. Ильин. - 9 ; стер. - Москва ; Минск : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М" : ООО "Новое знание", 2014. - 668 с.

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

Приложение А (обязательное)

Вопросы для защиты лабораторных работ

Лабораторная работа №1

- 1) 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 без сезонности?
- 5) Как учесть при прогнозе неопределенность рыночной среды?

Лабораторная работа №2

- 1) 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) 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) 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 не критические?

Лабораторная работа №4

- 1) Цель лабораторной работы?
- 2) Назовите параметры событий сети.
- 3) Назовите параметры работ сети.
- 4) Назовите параметры путей сети.
- 5) Каковы особенности параметров критических и не критических событий?

- 6) Каковы особенности параметров критических и некритических работ?
- 7) Каковы особенности параметров критических и некритических путей?

Лабораторная работа №5

- 1) 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) 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) 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) Цель лабораторной работы?
- 2) Осуществите математическую постановку многокритериальную 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) Определить графически и аналитически значение планового показателя срока реализации проекта (сметы затрат на реализацию) по заданному плановому показателю сметы затрат на реализацию (срока реализации проекта).

б) Сформулируйте выводы по результатам решения задачи.

Лабораторная работа №9

1) 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.

б) 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?