

Основные понятия сетевого планирования

Большая сложность и комплексность проведения работ по созданию АИС, одновременное участие многих исполнителей, необходимость параллельного выполнения работ, зависимость начала многих работ от результатов других, значительно осложняют планирование разработки.

Наиболее удобным в этих условиях являются системы сетевого планирования и управления (СПУ), основанные на применении сетевых моделей планируемых процессов, допускающих использование современной вычислительной техники, позволяющих быстро определить последствия различных вариантов управляющих воздействий и находить наилучшие из них. Они дают возможность руководителям своевременно получать достоверную информацию о состоянии дел, о возникших задержках и возможностях ускорения хода работ, концентрируют внимание руководителей на "критических" работах, определяющих продолжительность проведения разработки в целом, заставляют совершенствовать технологию и организацию работ, непосредственно влияющих на сроки проведения разработки, помогают составлять рациональные планы работ, обеспечивают согласованность действий исполнителей. Планирование НИР с применением сетевого метода ведется в следующем порядке:

- 1) составляется перечень событий и работ;
- 2) устанавливается топология сети;
- 3) строится сетевой график по теме;
- 4) определяется продолжительность работ;
- 5) рассчитываются параметры сетевого графика;
- 6) определяется продолжительность критического пути;
- 7) проводится анализ и оптимизация сетевого графика, если это необходимо.

Сетевой график - есть математическая модель упорядочивания проектных работ.

Основными понятиями сетевых моделей являются понятия *события* и *работы*.

Работа - это некоторый процесс, приводящий к достижению определенного результата, требующий затрат каких-либо ресурсов и имеющий протяженность во времени.

Событие - это момент времени, когда завершаются одни работы и начинаются другие. Например, фундамент залит бетоном, старение отливок завершено, комплектующие поставлены, отчеты сданы и т.д. Событие представляет собой результат проведенных работ и, в отличие от работ, не имеет протяженности во времени.

На этапе структурного планирования взаимосвязь работ и событий, необходимых для достижения конечной цели проекта, изображается с помощью *сетевого графика* (сетевой модели). На сетевом графике работы изображаются *стрелками*, которые соединяют *вершины*, изображающие события. Начало и окончание любой работы описываются парой событий, которые называются *начальным* и *конечным* событиями.

Важное значение для анализа сетевых моделей имеет понятие пути. *Путь* - это любая последовательность работ в сетевом графике (в частном случае это одна работа), в которой конечное событие одной работы совпадает с начальным событием следующей за ней работы. Различают следующие виды путей.

Полный путь - это путь от исходного до завершающего события. *Критический путь* - максимальный по продолжительности полный путь. Работы, лежащие на критическом пути, называют *критическими*. *Подкритический путь* - полный путь, ближайший по длительности к критическому пути.

Временные параметры событий

К временным параметрам событий относятся:

- $T_p(i)$ - ранний срок наступления события i . Это время, которое необходимо для выполнения всех работ, предшествующих данному событию i . Оно равно наибольшей из продолжительности путей, предшествующих данному событию.
- $T_n(i)$ - поздний срок наступления события i . Это такое время наступления события i , превышение которого вызовет аналогичную задержку наступления завершающего события сети. Поздний срок наступления любого события i равен разности между продолжительностью критического пути и наибольшей из продолжительностей путей, следующих за событием i .
- $R(i)$ - резерв времени наступления события i . Это такой промежуток времени, на который может быть отсрочено наступление события i без нарушения сроков завершения проекта в целом. Начальные и конечные события критических работ имеют нулевые резервы событий.

Рассчитанные численные значения временных параметров записываются прямо в вершины сетевого графика. Пример представлен на рисунке 1.

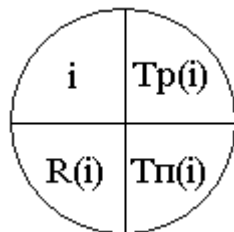


Рисунок 1. Отображение временных параметров событий в вершинах сетевого графика

Расчет ранних сроков свершения событий $T_p(i)$ ведется от исходного (И) к завершающему (З) событию.

1. Для исходного события И $T_p(И) = 0$.
2. Для всех остальных событий i $T_p(i) = \max[T_p(k) + t(k,i)]$, где максимум берется по всем работам (k,i) , входящим в событие i .

Поздние сроки свершения событий $T_n(i)$ рассчитываются от завершающего к исходному событию.

3. Для завершающего события З $T_n(З) = T_p(З)$.
4. Для всех остальных событий $T_n(i) = \min[T_n(j) - t(i,j)]$, где минимум берется по всем работам (i,j) , выходящим из события i .
5. $R(i) = T_n(i) - T_p(i)$.

Временные параметры работ и путей

К наиболее важным временным параметрам работ относятся:

- $T_{рн}(i, j)$ - ранний срок начала работы;
- $T_{пн}(i, j)$ - поздний срок начала работы;
- $T_{ро}(i, j)$ - ранний срок окончания работы;
- $T_{по}(i, j)$ - поздний срок окончания работы;

Для критических работ $T_{рн}(i, j) = T_{пн}(i, j)$ и $T_{ро}(i, j) = T_{по}(i, j)$.

- $R_{п}(i, j)$ - полный резерв работы показывает максимальное время, на которое может быть увеличена продолжительность работы (i, j) или отсрочено ее начало, чтобы продолжительность проходящего через нее максимального пути не превысила продолжительности критического пути. Важнейшее свойство полного резерва работы (i, j) заключается в том, что его частичное или полное использование уменьшает полный резерв у работ, лежащих с работой (i, j) на одном пути. Таким образом, полный резерв принадлежит не одной данной работе (i, j) , а всем работам, лежащим на путях, проходящим через эту работу.

- $R_{с}(i, j)$ - свободный резерв работы показывает максимальное время, на которое можно увеличить продолжительность работы (i, j) или отсрочить ее начало, не меняя ранних сроков начала последующих работ. Использование свободного резерва одной из работ не меняет величины свободных резервов остальных работ сети.

Временные параметры работ сети определяются на основе ранних и поздних сроков событий.

- 1) $T_{рн}(i, j) = T_{р}(i)$;
- 2) $T_{ро}(i, j) = T_{р}(i) + t(i, j)$ или $T_{ро}(i, j) = T_{рн}(i, j) + t(i, j)$;
- 3) $T_{по}(i, j) = T_{п}(j)$;
- 4) $T_{пн}(i, j) = T_{п}(j) - t(i, j)$ или $T_{пн}(i, j) = T_{по}(i, j) - t(i, j)$;
- 5) $R_{п}(i, j) = T_{п}(j) - T_{р}(i) - t(i, j)$;
- 6) $R_{с}(i, j) = T_{р}(j) - T_{р}(i) - t(i, j)$.

Временные параметры работ вносятся в таблицу. При этом коды работ записывают в определенном порядке: сначала записываются все работы, выходящие из исходного, т.е. первого, события, затем - выходящие из второго события, потом - из третьего и т.д.

Резервами времени, кроме работ и событий, обладают полные пути сетевой модели.

Разность между продолжительностью критического пути $T(L_{кр})$ и продолжительностью любого другого полного пути $T(L_{п})$ называется полным резервом времени пути $L_{п}$, т.е.

$R(L_{\Pi}) = T(L_{\text{кр}}) - T(L_{\Pi})$. Этот резерв показывает, на сколько в сумме может быть увеличена продолжительность всех работ данного пути L , чтобы при этом не изменился общий срок окончания всех работ.

Пример построения и расчета сетевого графика

Исходные данные включают название и продолжительность каждой работы, представленные в таблице 1, а также описание упорядочения работ.

Таблица 1 Исходные данные

Название работы	Продолжительность работы
А – разработка общего прикладного ПО	10
В – выбор системы программирования	8
С – разработка программного обеспечения	4
Д – разработка универсального ТО	12
Е – разработка общего системного ПО	7
Ф – оформление документации на ТО	11
Г - разработка технического обеспечения	5
Н – разработка баз данных	8
И – разработка информационного обеспечения	3
Ж – разработка специализированного ТО	9
К – оформление отчета о выполненной работе	10

Упорядочение работ

- 1) Работы С, И, Г являются исходными работами проекта, которые могут выполняться одновременно.
- 2) Работы Е и А следуют за работой С.
- 3) Работа Н следует за работой И.
- 4) Работы Д и Ж следуют за работой Г.
- 5) Работа В следует за работой Е.
- 6) Работа К следует за работами А и Д, но не может начаться прежде, чем не завершится работа Н.
- 7) Работа Ф следует за работой Ж.

На рисунке 2 представлена сетевая модель, соответствующая данному упорядочению работ. Каждому событию присвоен номер, что позволяет в дальнейшем использовать не названия работ, а их коды, представленные в таблице 2. Численные значения временных параметров событий сети вписаны в соответствующие секторы вершин сетевого графика, а временные параметры работ сети представлены в таблице 3.

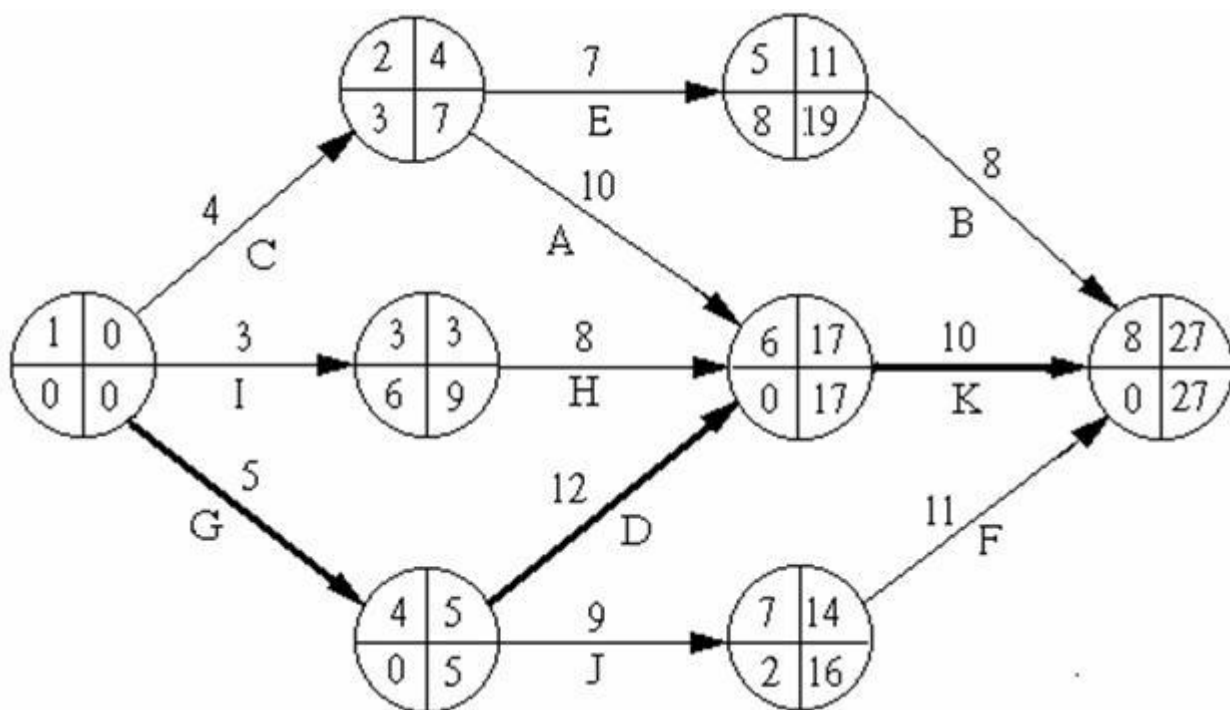


Рисунок 2 Сетевая модель

Таблица 2 Описание сетевой модели с помощью кодирования работ

Номера событий		Код работы	Продолжительность работы
начального	конечного		
1	2	(1,2)	4
1	3	(1,3)	3
1	4	(1,4)	5
2	5	(2,5)	7
2	6	(2,6)	10
3	6	(3,6)	8
4	6	(4,6)	12
4	7	(4,7)	9
5	8	(5,8)	8
6	8	(6,8)	10
7	8	(7,8)	11

Таблица 3 Временные параметры работ

(i, j)	$t(i, j)$	$T_{PH}(i, j)$	$T_{PO}(i, j)$	$T_{ПН}(i, j)$	$T_{ПО}(i, j)$	$R_{П}(i, j)$	$R_{С}(i, j)$
1,2	4	0	4	3	7	3	0
1,3	3	0	3	6	9	6	0
1,4	5	0	5	0	5	0	0
2,5	7	4	11	12	19	8	0
2,6	10	4	14	7	17	3	3
3,6	8	3	11	9	17	6	6
4,6	12	5	17	5	17	0	0
4,7	9	5	14	7	16	2	0
5,8	8	11	19	19	27	8	8
6,8	10	17	27	17	27	0	0
7,8	11	14	25	16	27	2	2

Оптимизация сетевых моделей по критерию «Минимум исполнителей»

Методика оптимизации загрузки сетевых моделей

При оптимизации использования ресурса рабочей силы чаще всего сетевые работы стремятся организовать таким образом, чтобы:

- количество одновременно занятых исполнителей было минимальным;
- выровнять потребность в людских ресурсах на протяжении срока выполнения проекта.

Суть оптимизации загрузки сетевых моделей по критерию "минимум исполнителей" заключается в следующем: необходимо таким образом организовать выполнения сетевых работ, чтобы количество одновременно работающих исполнителей было минимальным. Для проведения подобных видов оптимизации необходимо построить и проанализировать *график привязки* и *график загрузки*.

График привязки отображает взаимосвязь выполняемых работ во времени и строится на основе данных либо о продолжительности работ (в данной лабораторной это T_n), либо о ранних сроках начала и окончания работ. При первом способе построения необходимо помнить, что работа (i,j) может начать выполняться только после того как будут выполнены все предшествующие ей работы (k,j) . По вертикальной оси графика привязки откладываются коды работ, по горизонтальной оси - длительность работ (раннее начало и раннее окончание работ).

На *графике загрузки* по горизонтальной оси откладывается время, например в днях, по вертикальной - количество человек, занятых работой в каждый конкретный день. Для построения графика загрузки необходимо:

- на графике привязки над каждой работой написать количество ее исполнителей;
- подсчитать количество работающих в каждый день исполнителей и отложить на графике загрузки.

Для удобства построения и анализа графики загрузки и привязки следует располагать один над другим.

Описанные виды оптимизации загрузки выполняются за счет сдвига во времени не критических работ, т.е. работ, имеющих полный и/или свободный резервы времени. Полный и свободный резервы любой работы можно определить без специальных расчетов, анализируя только график привязки. Сдвиг работы означает, что она будет выполняться уже в *другие дни* (т.е. изменится время ее начала и окончания), что в свою очередь приведет к изменению количества исполнителей, работающих одновременно (т.е. уровня ежедневной загрузки сети).

Пример проведения оптимизации сетевой модели по критерию "Минимум исполнителей"

Графики привязки и загрузки для исходных данных из таблицы 4, представлены на рисунке 3.

Таблица 4 Исходные данные для оптимизации загрузки

Код работ	Продолжительность работ	Количество исполнителей
(1,2)	4	6
(1,3)	3	1
(1,4)	5	5
(2,5)	7	3
(2,6)	10	1
(3,6)	8	8
(4,6)	12	4
(4,7)	9	2
(5,8)	8	6
(6,8)	10	1
(7,8)	11	3

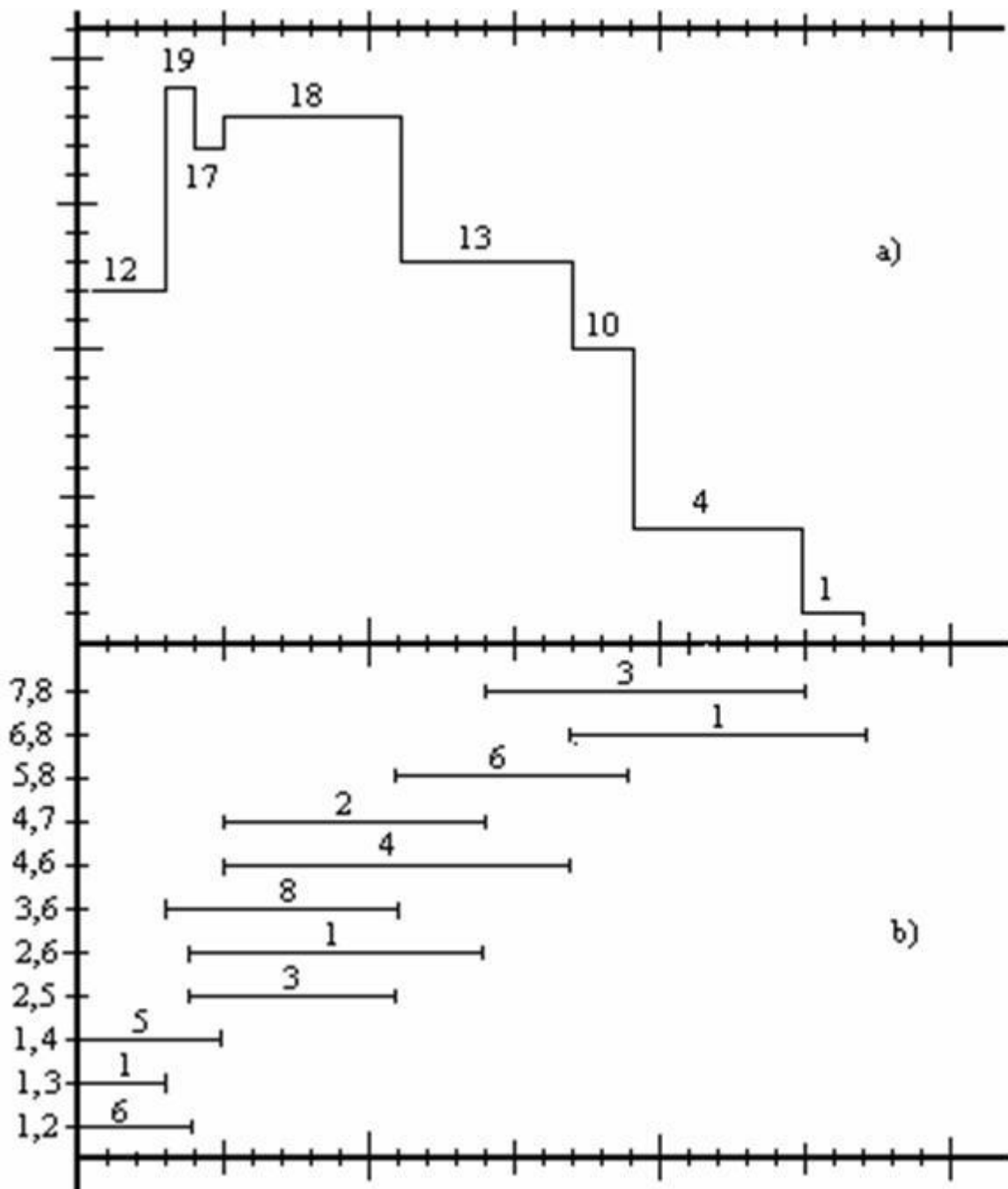


Рисунок 3. Графики загрузки (а) и привязки (б) до оптимизации

Допустим, что организация, выполняющая проект, имеет в распоряжении только $N = 15$ исполнителей. Но в соответствии с графиком загрузки (рисунок 3), в течение интервала времени с 3 по 11 день для выполнения проекта требуется работа одновременно 19, 17 и затем 18 человек. Таким образом, возникает необходимость снижения максимального количества одновременно занятых исполнителей с 19 до 15 человек. Для лучшего понимания последующего описания процесса оптимизации загрузки вручную вносите изменения в графики привязки и загрузки работ.

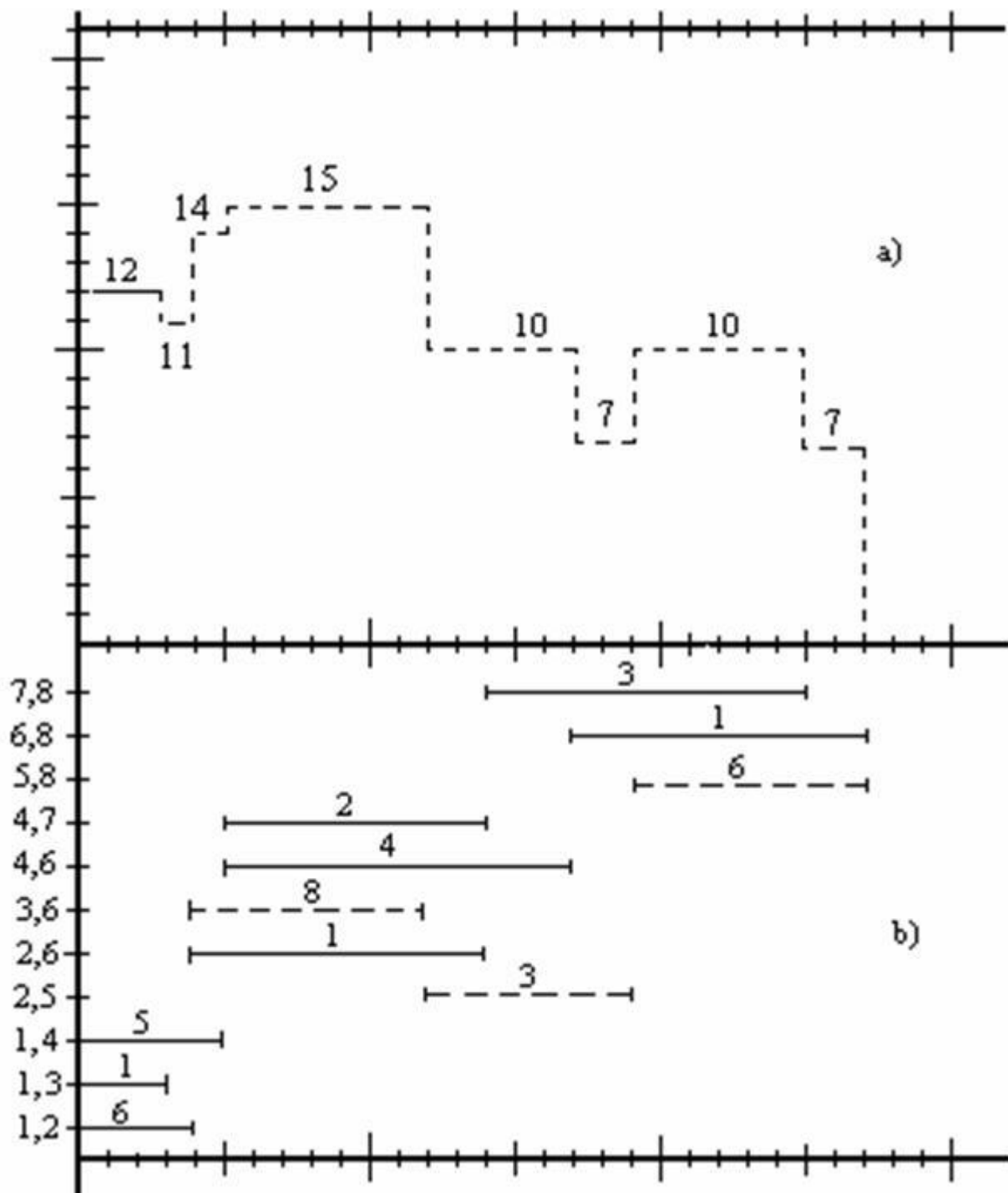


Рисунок 4 Графики загрузки (а) и привязки (б) после оптимизации

Проанализируем возможность уменьшения загрузки (19 человек) в течение 4-го дня. Используя $R_c(3,6) = 6$, сдвинем работу (3,6) на 1 день, что снизит загрузку 4-го дня до 11 человек, но при этом в 12-й день появится пик - 21 исполнитель. Для его устранения достаточно сдвинуть работу (5,8) на 1 дней, используя $R_c(5,8) = 8$.

Проанализируем возможность уменьшения загрузки (18 человек) с 6-го по 11-й день, т.е. в течение интервала времени в 6 дней. Так работа (2,5) является единственной, которую можно сдвинуть таким образом, чтобы она не выполнялась в указанные 6 дней с 6-го по 11-й день. Для этого, используя $R_p(2,5) = 8$, сдвинем работу (2,5) на 8 дней, после чего она будет начинаться уже не в 4-й, а в 12 день, к чему мы и стремились. Но поскольку $R_c(2,5) = 0$ и для сдвига работы (2,5) был использован полный резерв, то это влечет за собой обязательный сдвиг на 7 дней работы (5,8), следующей за работой (2,5).

В результате произведенных сдвигов максимальная загрузка сетевой модели уменьшилась с 19 до 15 человек, что и являлось целью проводимой оптимизации. Окончательные изменения в графиках привязки и загрузки показаны на рисунке 4 пунктирной линией.

Проведенная оптимизация продемонстрировала следующее различие использования свободных и полных резервов работ. Так сдвиг работы на время в пределах ее свободного резерва не меняет моменты начала последующих за ней работ. В то же время сдвиг работы на время, которое находится в пределах ее полного резерва, но превышает ее свободный резерв, влечет сдвиг последующих за ней работ.

Образец выполнения отчетной карты

Тверской колледж им.
А.Н.Коняева
Лаборатория вычислительной
техники

Студент _____
группа _____
Курс _____ отделение _____

Отчетная карта по работе 1 Построение и расчет моделей сетевого планирования и управления

Таблица 1 Исходные данные

Название работы	Продолжительность работы
А – разработка общего прикладного ПО	10
В – выбор системы программирования	8
С – разработка программного обеспечения	4
Д – разработка универсального ТО	12
Е – разработка общего системного ПО	7
Ф – оформление документации на ТО	11
Г - разработка технического обеспечения	5
Н – разработка баз данных	8
И – разработка информационного обеспечения	3
Ж – разработка специализированного ТО	9
К – оформление отчета о выполненной работе	10

Упорядочение работ

- 1) Работы С, И, Г являются исходными работами проекта, которые могут выполняться одновременно.
- 2) Работы Е и А следуют за работой С.
- 3) Работа Н следует за работой И.
- 4) Работы Д и Ж следуют за работой Г.
- 5) Работа В следует за работой Е.
- 6) Работа К следует за работами А и Д, но не может начаться прежде, чем не завершится работа Н.
- 7) Работа Ф следует за работой Ж.

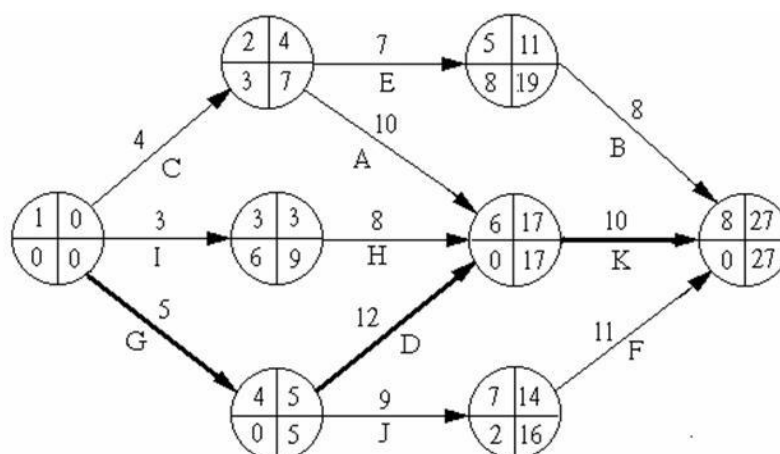


Рисунок 1 Сетевая модель

Таблица 2 Описание сетевой модели с помощью кодирования работ

Номера событий		Код работы	Продолжительность работы
начального	конечного		
1	2	(1,2)	4
1	3	(1,3)	3
1	4	(1,4)	5
2	5	(2,5)	7
2	6	(2,6)	10
3	6	(3,6)	8
4	6	(4,6)	12
4	7	(4,7)	9
5	8	(5,8)	8
6	8	(6,8)	10
7	8	(7,8)	11

Таблица 3 Временные параметры работ

(i, j)	$t(i, j)$	$T_{pH}(i, j)$	$T_{po}(i, j)$	$T_{пн}(i, j)$	$T_{по}(i, j)$	$R_{п}(i, j)$	$R_{c}(i, j)$
1,2	4	0	4	3	7	3	0
1,3	3	0	3	6	9	6	0
1,4	5	0	5	0	5	0	0
2,5	7	4	11	12	19	8	0
2,6	10	4	14	7	17	3	3
3,6	8	3	11	9	17	6	6
4,6	12	5	17	5	17	0	0
4,7	9	5	14	7	16	2	0
5,8	8	11	19	19	27	8	8
6,8	10	17	27	17	27	0	0
7,8	11	14	25	16	27	2	2

Выводы: _____

«__» _____ 200__ г.

Подпись преподавателя _____

Образец выполнения отчетной карты

Тверской колледж им.
А.Н.Коняева
Лаборатория вычислительной
техники

Студент _____
группа _____
Курс _____ отделение _____

Отчетная карта по работе 2

Оптимизация сетевых моделей по критерию «Минимум исполнителей»

Таблица 1 Исходные данные для оптимизации загрузки

Код работ	Продолжительность работ	Количество исполнителей
(1,2)	4	6
(1,3)	3	1
(1,4)	5	5
(2,5)	7	3
(2,6)	10	1
(3,6)	8	8
(4,6)	12	4
(4,7)	9	2
(5,8)	8	6
(6,8)	10	1
(7,8)	11	3

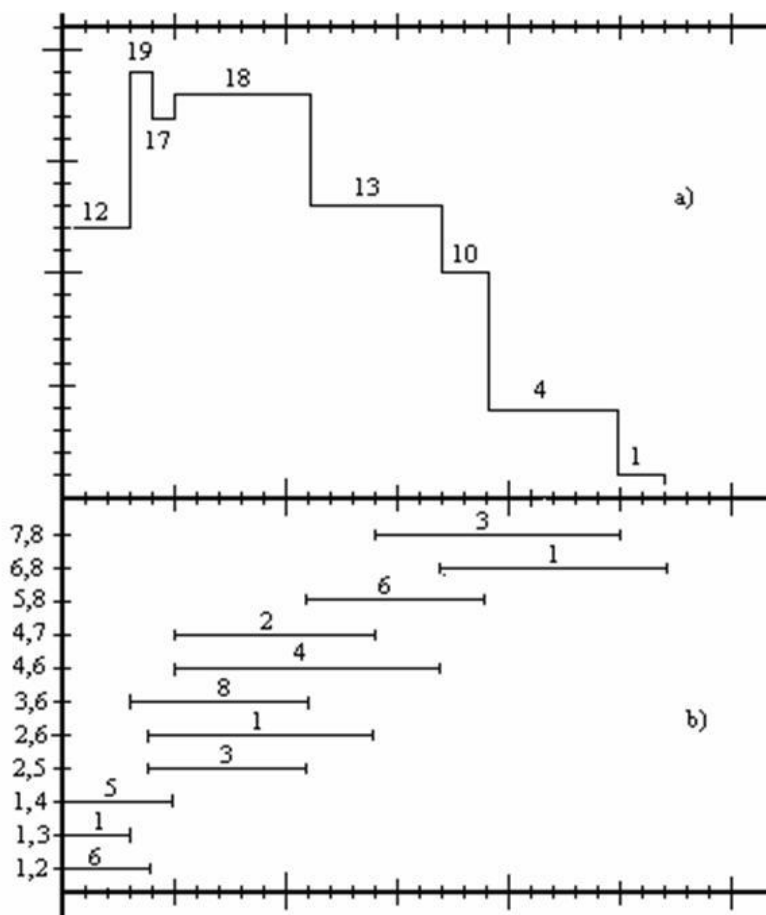


Рисунок 1. Графики загрузки (а) и привязки (б) до оптимизации

Дано, что организация, выполняющая проект, имеет в распоряжении только $N = 15$ исполнителей. Но в соответствии с графиком загрузки (рисунок 8), в течение интервала времени с 3 по 11 день для выполнения проекта требуется работа одновременно 19, 17 и затем 18 человек. Таким образом, возникает необходимость снижения максимального количества одновременно занятых исполнителей с 19 до 15 человек.

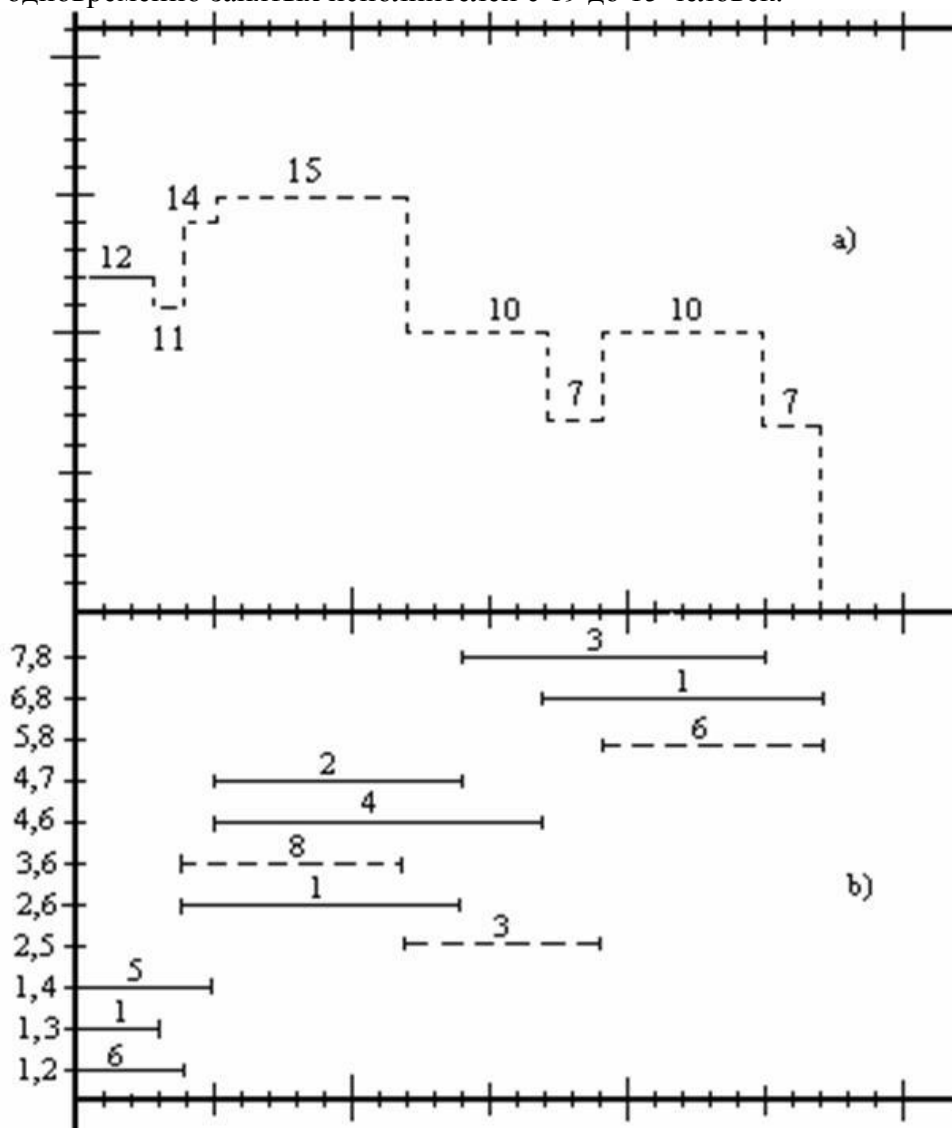


Рисунок 2 Графики загрузки (а) и привязки (б) после оптимизации

Выводы: _____

«__» _____ 200__ г.

Подпись преподавателя _____