# ПОСТРОЕНИЕ И РАСЧЕТ МОДЕЛЕЙ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

## 1.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение навыков построения и расчета временных параметров моделей сетевого планирования и управления.

## 1.2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1.2.1. Введение

Сетевое Планирование и Управление - это комплекс графических и расчетных методов, организационных мероприятий, обеспечивающих моделирование, анализ и динамическую перестройку плана выполнения сложных проектов и разработок, например, таких как: строительство и реконструкция каких-либо объектов; выполнение научно-исследовательских и конструкторских работ; подготовка производства к выпуску продукции; перевооружение армии; развертывание системы медицинских или профилактических мероприятий.

*Характерной особенностью* таких проектов является то, что они состоят из ряда отдельных, элементарных *работ*. Они обуславливают друг друга так, что выполнение некоторых работ не может быть начато раньше, чем завершены некоторые другие. Например, укладка фундамента не может быть начата раньше, чем будут доставлены необходимые материалы; эти материалы не могут быть доставлены раньше, чем будут построены подъездные пути; любой этап строительства не может быть начат без составления соответствующей технической документации и т.д.

Сетевое Планирование и Управление включает три основных этапа:

1. Структурное планирование;
2. Календарное планирование;
3. Оперативное управление.

*Структурное планирование* начинается с разбиения проекта на четко определенные операции, для которых определяется продолжительность. Затем строится сетевой график, который представляет взаимосвязи работ проекта. Это позволяет детально анализировать все работы и вносить улучшения в структуру проекта еще до начала его реализации.

*Календарное планирование* предусматривает построение календарного графика, определяющего моменты начала и окончания каждой работы и другие временные характеристики сетевого графика. Это позволяет, в частности, выявлять критические операции, которым необходимо уделять особое внимание, чтобы закончить проект в директивный срок. Во время календарного планирования определяются временные характеристики всех работ с целью проведения в дальнейшем *оптимизации* сетевой модели, которая позволит улучшить эффективность использования какого-либо ресурса.

В ходе *оперативного управления* используются сетевой и календарный графики для составления периодических отчетов о ходе выполнения проекта. При этом сетевая модель может подвергаться оперативной корректировке, вследствие чего будет разрабатываться новый календарный план остальной части проекта.

### 1.2.2. Основные понятия и определения

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. По своей физической природе работы можно рассматривать как:

1. *действие*: разработка чертежа, изготовление детали, заливка фундамента бетоном, изучение конъюнктуры рынка;
2. *процесс*: старение отливок, выдерживание вина, травление плат;
3. *ожидание*: ожидание поставки комплектующих, пролеживание детали в очереди к станку.

По количеству затрачиваемого времени работа может быть:

1. *действительной*, т.е. требующей затрат времени;
2. *фиктивной*, т.е. формально не требующей затрат времени и представляющей связь между какими-либо работами, например: передача измененных чертежей от конструкторов к технологам; сдача отчета о технико-экономических показателях работы цеха вышестоящему подразделению.

*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. Событиепредставляет 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. Поэтому для идентификации конкретной работы используют код работы , состоящий из номеров начального (i-го) и конечного (j-го) событий (см. рис.1.1).



Рис.1.1. Кодирование работы

Любое событие может считаться наступившим только тогда, когда закончатся *все* входящие в него работы. Поэтому, работы, выходящие из некоторого события не могут начаться, пока не будут завершены *все* работы, входящие в это событие.

Событие, не имеющее предшествующих ему событий, т.е. с которого начинается проект, называют *исходным.* Событие, которое не имеет последующих событий и отражает конечную цель проекта, называется *завершающим*.

При построении сетевого графика необходимо следовать следующим правилам:

1. длина стрелки не зависит от времени выполнения работы;
2. стрелка может не быть прямолинейным отрезком;
3. для действительных работ используются сплошные, а для фиктивных - пунктирные стрелки;
4. каждая операция должна быть представлена только одной стрелкой;
5. между одними и теми же событиями не должно быть параллельных работ, т.е. работ с одинаковыми кодами;
6. следует избегать пересечения стрелок;
7. не должно быть стрелок, направленных справа налево;
8. номер начального события должен быть меньше номера конечного события;
9. не должно быть *висячих* событий (т.е. не имеющих предшествующих событий), кроме исходного;
10. не должно быть *тупиковых* событий (т.е. не имеющих последующих событий), кроме завершающего;
11. не должно быть циклов (см. рис. 1.2).



Рис.1.2. Недопустимость циклов

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.

Построение сети является лишь первым шагом на пути к построению календарного плана. Вторым шагом является расчет сетевой модели, который выполняют прямо на сетевом графике, пользуясь простыми правилами.

### 1.2.3. Временные параметры событий

К временным параметрам событий относятся:

1.  - 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.
2.  - 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.
3.  - 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.

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

*Примечание.*Поскольку длительность работы может быть как нормальной , так и ускоренной  (см. п. 3), то для общности изложения будем в дальнейшем обозначать текущую длительность работы буквой  с соответствующим кодом работы, например, ,  и т.д.

1. Для исходного события И .
2. Для всех остальных событий i , где максимум берется по всем работам , входящим в событие i.

Поздние сроки свершения событий  рассчитываются от завершающего к исходному событию.

1. Для завершающего события З .
2. Для всех остальных событий , где минимум берется по всем работам , выходящим из события i.
3. .

### 1.2.4. Временные параметры работ и путей

К наиболее важным временным параметрам работ относятся:

1.  - ранний срок начала работы;
2.  - поздний срок начала работы;
3.  - ранний срок окончания работы;
4.  - поздний срок окончания работы;

Для критических работ  и .

1.  - полный резерв работы показывает максимальное время, на которое может быть увеличена продолжительность работы  или отсрочено ее начало, чтобы продолжительность проходящего через нее максимального пути не превысила продолжительности критического пути. Важнейшее свойство полного резерва работы  заключается в том, что его частичное или полное использование уменьшает полный резерв у работ, лежащих с работой  на одном пути. Таким образом, полный резерв принадлежит не одной данной работе , а всем работам, лежащим на путях, проходящим через эту работу.
2.  - свободный резерв работы показывает максимальное время, на которое можно увеличить продолжительность работы  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. ;
2.  или ;
3. ;
4.  или ;
5. ;
6. .

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 продолжительность критического пути  и продолжительностью любого другого полного пути  называется полным резервом времени пути , т.е. . 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.

### 1.2.5. Пример построения и расчета сетевой модели

Исходные данные варианта лабораторной работы включают название и продолжительность каждой работы (табл. 1.1), а также описание упорядочения работ.

Исходные данные

 Таблица 1.1

|  |  |
| --- | --- |
| Название работы | Продолжительность работы |
| A | 10 |
| B | 8 |
| C | 4 |
| D | 12 |
| E | 7 |
| F | 11 |
| G | 5 |
| H | 8 |
| I | 3 |
| J | 9 |
| K | 10 |

*Упорядочение работ*

1. Работы C, I, G являются исходными работами проекта, которые могут выполняться одновременно.
2. Работы E и A следуют за работой C.
3. Работа H следует за работой I.
4. Работы D и J следуют за работой G.
5. Работа B следует за работой E.
6. Работа K следует за работами A и D, но не может начаться прежде, чем не завершится работа H.
7. Работа F следует за работой J.

На рис.1.3 представлена сетевая модель, соответствующая данному упорядочению работ. Каждому событию присвоен номер, что позволяет в дальнейшем использовать не названия работ, а их коды (см. табл. 1.2). Численные значения временных параметров событий сети вписаны в соответствующие секторы вершин сетевого графика, а временные параметры работ сети представлены в табл. 1.3.



Рис.1.3. Сетевая модель

Таблица 1.2

Описание сетевой модели с помощью кодирования работ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номера событий | Код работы | Продолжительность |
| начального | конечного |  | работы |
| 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 1.3

Временные параметры работ

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 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 |

1. Рассчитайте временные параметры работ в сети (с помощью программы Excel), результаты сведите в таблицу (табл.1.3). Номер варианта – последняя цифра в номере зачетной книжки. Цифре 0 соответствует вариант 10

**Вариант 1**

|  |  |
| --- | --- |
| Назв.работы | Норм.длительность |
| A | 7 |
| B | 9 |
| C | 5 |
| D | 7 |
| E | 6 |
| F | 12 |
| G | 10 |
| H | 11 |
| I | 4 |
| J | 6 |
| K | 2 |

*Упорядочение работ*

1. С, G и B- исходные работы проекта, которые можно начинать одновременно;
2. Работа D следует за С, а работа E начинается сразу по окончании работы D;
3. Работы A и J следуют за B;
4. Работа I следует за A;
5. Работа F следует за G и E, но не может начаться, пока не завершена работа I;
6. Работа H следует за J, но не может начаться, пока не завершена F.

**Вариант 2**

|  |  |
| --- | --- |
| Назв.работы | Норм.длительность |
| A | 5 |
| B | 5 |
| C | 4 |
| D | 7 |
| E | 12 |
| F | 3 |
| G | 6 |
| H | 2 |
| I | 8 |
| J | 3 |

*Упорядочение работ*

1. С, E и F - исходные работы проекта, которые можно начинать одновременно;
2. Работа A начинается сразу по окончании работы С;
3. Работа H следует за F;
4. Работа I следует за A, а работы D и J - за H;
5. Работа G следует за E, но не может начаться, пока не завершены D и I;
6. Работа B следует за G и J.

**Вариант 3**

|  |  |
| --- | --- |
| Назв.работы | Норм.длительность |
| A | 12 |
| B | 6 |
| C | 10 |
| D | 7 |
| E | 9 |
| F | 8 |
| G | 10 |
| H | 10 |
| I | 6 |
| J | 5 |

*Упорядочение работ*

1. D - исходная работа проекта;
2. Работы С, E и F начинаются сразу по окончании работы D;
3. Работы A и J следуют за C, а работа G - за F;
4. Работа I следует за A, а работа B - за G;
5. Работа H начинается после завершения E, но не может начаться, пока не завершены I и B.

 **Вариант 4**

|  |  |
| --- | --- |
| Назв.работы | Норм.длительность |
| A | 3 |
| B | 4 |
| C | 1 |
| D | 4 |
| E | 5 |
| F | 7 |
| G | 6 |
| H | 5 |
| I | 8 |

*Упорядочение работ*

1. D - исходная работа проекта;
2. Работа E следует за D;
3. Работы A, G и C следуют за E;
4. Работа B следует за A;
5. Работа H следует за G;
6. Работа F следует за C;
7. Работа I начинается после завершения B, H, и F.

**Вариант 5**

|  |  |
| --- | --- |
| Назв.работы | Норм.длительность |
| A | 9 |
| B | 3 |
| C | 12 |
| D | 6 |
| E | 8 |
| F | 4 |
| G | 7 |
| H | 10 |
| I | 7 |
| J | 12 |

*Упорядочение работ*

1. F, C и B - исходные работы проекта, которые можно начинать одновременно;
2. Работа E следует за F;
3. Работа A следует за B, а работа G - за A;
4. Работы D и J следуют за E;
5. Работа I следует за C, но не может начаться прежде чем закончатся J и G;
6. Работа H следует за D.

**Вариант 6**

|  |  |
| --- | --- |
| Назв.работы | Норм.длительность |
| A | 7 |
| B | 6 |
| C | 8 |
| D | 9 |
| E | 10 |
| F | 11 |
| G | 5 |
| H | 9 |
| I | 12 |
| J | 6 |

*Упорядочение работ*

1. G - исходная работа проекта;
2. Работы A, I и D следуют за G и могут выполняться одновременно;
3. Работы С и J следуют за А, работа F - за I, а работа B - за D;
4. Работа Е следует за С;
5. Работа H следует за B, но не может начаться, пока не завершена F.

**Вариант 7**

|  |  |
| --- | --- |
| Назв.работы | Норм.длительность |
| A | 9 |
| B | 10 |
| C | 6 |
| D | 5 |
| E | 16 |
| F | 12 |
| G | 14 |
| H | 15 |
| I | 11 |
| J | 3 |

*Упорядочение работ*

1. С, D и E- исходные работы проекта, которые можно начинать одновременно;
2. Работа A следует за С, а работа F начинается сразу по окончании работы А;
3. Работа G следует за F;
4. Работа B следует за D, а работы I и J следуют за B;
5. Работа H следует за I и E, но не может начаться, пока не завершена G.

**Вариант 8**

|  |  |
| --- | --- |
| Назв.работы | Норм.длительность |
| A | 12 |
| B | 8 |
| C | 15 |
| D | 9 |
| E | 14 |
| F | 9 |
| G | 15 |
| H | 10 |
| I | 11 |
| J | 13 |

*Упорядочение работ*

1. C, J и D - исходные работы проекта, которые можно начинать одновременно;
2. Работа A следует за D, а работа I - за A;
3. Работа H следует за I;
4. Работа F следует за H, но не может начаться, пока не завершена С;
5. Работа G следует за I;
6. Работа E следует за J, а работа B - за E.

**Вариант 9**

|  |  |
| --- | --- |
| Назв.работы | Норм.длительность |
| A | 3 |
| B | 5 |
| C | 6 |
| D | 9 |
| E | 7 |
| F | 2 |
| G | 6 |
| H | 9 |
| I | 4 |
| J | 6 |
| K | 7 |

*Упорядочение работ*

1. A, F и G- исходные работы проекта, которые можно начинать одновременно;
2. Работы H и B начинаются сразу по окончании работы F;
3. Работа J следует за А, а работа I - за G;
4. Работа E следует за H;
5. Работы C и K следуют за B и I, но не могут начаться, пока не завершена J;
6. Работа D следует за E и C.

**Вариант 10**

|  |  |
| --- | --- |
| Назв.работы | Норм.длительность |
| A | 2 |
| B | 4 |
| C | 8 |
| D | 9 |
| E | 6 |
| F | 12 |
| G | 10 |
| H | 6 |
| I | 7 |
| J | 4 |

*Упорядочение работ*

1. C, I и G- исходные работы проекта, которые можно начинать одновременно;
2. Работы J и B начинаются сразу по окончании работы I;
3. Работа H следует за C, а работа A - за H;
4. Работа F следует за G;
5. Работа E следует за B;
6. Работа D следует за A и E, но не может начаться, пока не завершена F.