

### ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ \*

Системы сетевого планирования и управления (СПУ) предназначены для управления производственной деятельностью коллективов людей, имеющих своей целью достижение определенного конечного результата. Области наиболее целесообразного применения систем СПУ являются планирование, контроль и оперативное руководство такими видами деятельности, как:

а) целевые разработки сложных объектов новой техники, в создании которых принимают участие многие организации и предприятия;

б) основная деятельность отдельных разрабатывающих организаций и предприятий;

в) комплексы работ по освоению производства новых видов промышленной продукции;

г) строительство и монтаж новых промышленных и гражданских объектов.

д) реконструкция и ремонт действующих промышленных и гражданских объектов.

В качестве информационной динамической модели, отображающей процесс выполнения комплекса операций и его конечную цель, а также позволяющей алгоритмизировать процессы управления этим комплексом, в системах СПУ используется сетевая модель.

Сетевая модель может быть изображена в виде ориентированного графа, состоящего из стрелок и кружков, называемого сетевым графиком (сетью). Простейший пример сетевого графика показан на рис. 1.

Стрелками на графике изображаются отдельные работы. Термин «работа» используется в широком смысле и может иметь следующие значения:

а) действительная работа, т. е. трудовой процесс, требующий затрат времени и ресурсов;

б) «ожидание» — работа, не требующая затрат труда, но занимающая время;

в) «зависимость», или «фиктивная работа», т. е. логическая связь, указывающая, что возможность начала одной работы зависит от результатов другой и не требующая затрат времени и ресурсов.

Кружки отображают конечные результаты работ и называются событиями. В отличие от работ, событие не является процессом, а определяет факт получения конечных результатов всех предшествующих ему работ

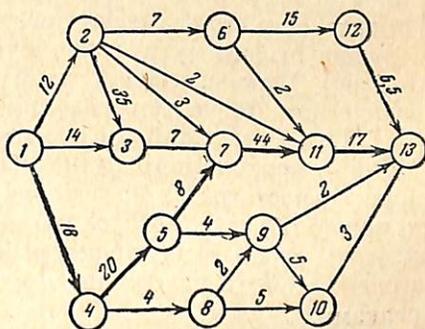


Рис. 1

\* Сокращенное изложение «Основных положений по разработке и применению систем сетевого планирования и управления», утвержденных постановлением Государственного комитета по координации научно-исследовательских работ СССР. М., «Экономика», 1965.

и готовность к началу непосредственно следующих за ним работ. Свершение события есть момент времени, соответствующий моменту свершения последней из работ, непосредственно предшествующих данному событию.

В сети всегда существуют по крайней мере два особых события: исходное и завершающее. Определение исходного события представляет собой формулировку условия для начала работ по выполнению данного комплекса операций. Исходное событие не имеет предшествующих работ и событий. Определение завершающего события представляет собой формулировку конечной цели данного комплекса операций. Завершающее событие не имеет последующих за ним работ и событий.

Любая последовательность работ в сети, в которой конечное событие каждой работы совпадает с начальным событием следующей за ней работы, называется путем. Путь, начало которого совпадает с исходным событием сети, а конец — с завершающим событием сети, является полным путем. Для краткости его называют просто «путь».

Длина любого пути равна сумме продолжительностей составляющих его работ. Путь, имеющий наибольшую продолжительность, называется критическим. В рассматриваемом примере критическим является путь 1, 4, 5, 7, 11, 13, имеющий продолжительность 107 дней.

Длина критического пути (обозначаемая  $t_{кр}$ ) определяет общую продолжительность работ по объекту в целом. Чтобы сократить сроки создания нового объекта, необходимо прежде всего принять меры, позволяющие сократить сроки выполнения работ, находящихся на критическом пути. На рис. 1 работы, находящиеся на критическом пути, выделены жирными стрелками.

Зная продолжительность всех работ, можно для любого события сети определить наиболее ранний из возможных сроков его свершения  $t_p(i)$  и наиболее поздний из допустимых сроков его свершения  $t_n(i)$  или для краткости: ранний и поздний сроки свершения события  $i$ . Если обозначить максимальный предшествующий событию  $i$  путь через  $L_1(i)$ , а максимальный последующий за событием  $i$  путь — через  $L_2(i)$ , то:

$$t_p(i) = t[L_1(i)]$$

и

$$t_n(i) = t_{кр} - t[L_2(i)].$$

Например, для события 10 максимальным предшествующим является путь (1, 4, 5, 9, 10), а максимальным последующим — путь (10, 13). Следовательно:

$$t_p(10) = t(1, 4) + t(4, 5) + t(5, 9) + t(9, 10) = 47.$$

$$t_n(10) = t_{кр} - t(10, 13) = 104.$$

Для событий, принадлежащих критическому пути,  $t_p(i) = t_n(i)$ .

Зная  $t_p(i)$  и  $t_n(i)$  для всех событий сети, можно для любой работы  $(i, j)$  определить:

- самый ранний из возможных сроков начала работы  $t_{р.н.}(i, j)$ ;
- самый поздний из допустимых сроков начала работы  $t_{п.н.}(i, j)$ ;
- самый ранний из возможных сроков окончания работы  $t_{р.о.}(i, j)$ ;
- самый поздний из допустимых сроков окончания работы  $t_{п.о.}(i, j)$ .

Эти показатели определяются по формулам:

$$t_{р.н.}(i, j) = t_p(i);$$

$$t_{п.н.}(i, j) = t_n(j) - t(i, j);$$

$$t_{р.о.}(i, j) = t_p(i) + t(i, j);$$

$$t_{п.о.}(i, j) = t_n(j),$$

где  $t(i, j)$  — продолжительность выполнения работы  $(i, j)$ .

Для всех работ критического пути  $t_{p.н.} = t_{п.н.}$  и  $t_{p.о.} = t_{п.о.}$ , так как для всех событий этого пути  $t_p = t_{п.}$ .

Разница между длиной критического пути  $t_{кр.}$  и длиной пути  $t(L)$  называется полным резервом времени пути  $L$  и обозначается через  $P(L)$ :  $P(L) = t_{кр.} - t(L)$ .

Резерв времени работы, определенной посредством величины резерва времени пути, на котором она находится, называется полным резервом времени работы  $(i, j)$  и обозначается через  $P_{п}(i, j)$ .

Полный резерв времени  $P_{п}(i, j)$  работы  $(i, j)$  определяется как резерв времени у максимального из путей, проходящих через эту работу. Величина  $P_{п}(i, j)$  показывает, на какое время может быть увеличена продолжительность  $t(i, j)$  отдельной работы  $(i, j)$ , чтобы при этом  $t(L)_{\max}$  — длина максимального из путей, проходящих через эту работу, не превышала длины критического пути. Для работы  $(i, j)$  полный резерв времени  $P_{п}(i, j)$  определяется зависимостью:  $P_{п}(i, j) = t_{п}(j) - t_p(i) - t(i, j)$ .

Для любой работы, лежащей на критическом пути,  $P_{п}(i, j) = 0$ .  
У отдельных работ, помимо полного резерва времени, имеется свободный резерв времени  $P_c(i, j)$ . Это означает, что можно увеличить продолжительность работы  $(i, j)$  на величину ее свободного резерва времени  $P_c$ , не влияя на величину резервов времени у всех остальных работ сети. Величина  $P_c$  определяется зависимостью:  $P_c(i, j) = t_p(j) - t_{п}(i) - t(i, j)$ .

Имеются и другие виды резервов времени, понятия которых в практике используются редко.

Резервы времени используются в системах СПУ для оптимизации плана, контроля за его выполнением и для прогнозирования хода работ с учетом фактического их состояния и предполагаемых изменений.

Процесс разработки исходного плана выполнения заданного комплекса операций разбивается на семь последовательных этапов:

- I. Проработка технического задания на создаваемый объект и выдача заданий ответственным исполнителям.
- II. Представление ответственными исполнителями исходных данных для составления и расчета сетевой модели (сводного сетевого графика).
- III. Разработка сводного сетевого графика.
- IV. Поверочный расчет сетевой модели.
- V. Приведение параметров сетевой модели в соответствие с заданными ограничениями.
- VI. Расчет показателей исходного плана.
- VII. Утверждение показателей исходного плана и доведение их до руководителей подразделений и исполнителей работ.

*Первый этап* разработки исходного плана заключается в расчленении всего комплекса на отдельные части, закрепляемые за ответственными исполнителями. Выполнять эту работу должен руководитель головной организации или назначаемый им технический руководитель — ведущий специалист по данному объекту. Ответственными исполнителями в системах СПУ могут быть только специалисты, непосредственно руководящие выполнением работ по отдельным частям комплекса операций.

При выполнении первого этапа разработки исходного плана должны соблюдаться следующие принципы:

- 1) планирование должно носить «сквозной» характер, т. е. вестись относительно заданной конечной цели планируемого комплекса операций;
- 2) определение конечной цели должно быть предельно четким, конкретным и полным;
- 3) планирование должно быть комплексным, т. е. в будущую сетевую модель должны включаться все работы, выполнение которых необходимо для достижения конечной цели;

4) должна быть предусмотрена четкая персональная ответственность за выполнение любого элемента планируемого комплекса операций.

*Вторым этапом* разработки исходного плана является составление и представление в службу СПУ: а) первичных сетевых графиков на закрепленные за ответственными исполнителями работы и б) определений входящих в них событий и работ, а также установленных оценок (показателей) по каждой работе.

При этом важнейшим принципом в системах СПУ является единство форм представления исходных данных по всем работам и событиям сети независимо от характера этих работ и ведомственной принадлежности их исполнителей. С этой целью устанавливаются единые для всех организаций формы документации для представления исходных данных.

Во всех системах СПУ применяется оценка продолжительности работ.

Для работ, часто повторяющихся (типовых) или имеющих достаточно близкий прототип, может быть однозначно установлена наиболее вероятная или нормальная продолжительность ( $t_{н.в.}$  или  $t_{норм.}$ ).

Для значительной части работ по созданию новых объектов это сделать чрезвычайно трудно. В таких случаях применяется один из следующих вероятностных методов оценки показателей продолжительности по каждой работе:

1) Определяются две оценки времени:

продолжительность работы при наиболее благоприятном стечении обстоятельств ( $t_{min}$ ),

продолжительность работы при самом неблагоприятном стечении обстоятельств ( $t_{max}$ ).

В расчетах сетевого графика используется ожидаемая продолжительность работы ( $t_{ож.}$ ):

$$t_{ож.} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}.$$

2) В дополнение к ( $t_{min}$ ) и ( $t_{max}$ ) определяется ( $t_{н.в.}$ ) — такая продолжительность, которая будет иметь место при нормальных условиях выполнения работы. В расчетах сетевого графика используется ожидаемая продолжительность работы ( $t_{ож.}$ ):

$$t_{ож.} = \frac{t_{min} + 4t_{н.в.} + t_{max}}{6}.$$

При определении показателей работ необходимо руководствоваться следующими принципами:

1) оценка показателей работ должна производиться наиболее компетентными специалистами;

2) ответственные исполнители должны максимально использовать имеющуюся нормативно-справочную базу;

3) ответственные исполнители определяют только продолжительность работ, но никак не календарные сроки их выполнения, которые могут быть обоснованно определены лишь в результате расчета сети.

*Третий этап* — разработка сводного сетевого графика — осуществляется службой СПУ головной организации на основе исходных данных, представленных ответственными исполнителями, и завершается передачей массива выверенных и закодированных исходных данных по событиям и работам в вычислительный центр.

*Четвертым этапом* разработки исходного плана в системах СПУ является поверочный расчет сети на ЭВМ, в результате которого определяются следующие данные:

- а) ожидаемые сроки создания нового объекта;
- б) состав работ критического пути, сроки их начала и окончания;
- в) ранние и поздние сроки начала и окончания остальных работ с указанием имеющихся у них резервов времени.

*Пятый этап* начинается с анализа первоначального сетевого графика и результатов поверочного расчета с целью установления соответствия расчетных параметров сети заданным директивным показателям (например, директивным срокам).

Если первоначальный вариант сетевого графика не обеспечивает соблюдения директивных сроков, то производится изменение планируемых параметров сетевой модели для уменьшения срока разработки. Существуют следующие возможные пути уменьшения планируемого срока разработки:

а) изменение состава или последовательности выполнения отдельных работ, а также взаимосвязи между ними с целью сокращения критического пути;

б) сокращение продолжительности отдельных работ критического пути за счет перераспределения или привлечения дополнительных ресурсов, а также улучшения организации и технологии проведения этих работ.

Применяемые в системах СПУ методы улучшения плана не всегда обеспечивают нахождение оптимального варианта.

Массив скорректированных исходных данных направляется в вычислительный центр для проведения повторного поверочного расчета. Если новый вариант сети тоже не обеспечивает соблюдения директивных сроков, то вся процедура повторяется снова, и так до тех пор, пока не будет получен удовлетворяющий результат или обоснованное доказательство невозможности уложиться в заданный срок при поставленных ограничениях.

*Шестой и седьмой этапы* разработки исходного плана заключаются в расчете календарных планов-графиков проведения работ и их доведения до ответственных исполнителей.

Стадия оперативного управления процессами создания нового объекта охватывает время, начиная с момента утверждения исходного плана и его доведения до всех исполнителей работ и кончая завершением всех работ.

Задачами оперативного управления являются: контроль за фактическим состоянием выполнения работ, выявление и анализ возникающих изменений и расхождений между запланированным и фактическим ходом работ, выработка и осуществление таких решений и организационно-технических мероприятий, которые сводили бы эти расхождения к минимуму.

Процессы оперативного управления в системах СПУ разделяются на следующие периодически повторяющиеся этапы или процедуры:

а) выработка и передача по соответствующим каналам связи первичной оперативной информации о ходе работ;

б) обработка первичной информации, получение сводно-аналитической информации и доведение ее до руководителей соответствующих уровней и ответственных исполнителей;

в) анализ фактического хода разработки и принятие решений по оптимизации хода выполнения работ;

г) разработка оперативно-календарных планов и доведение их до ответственных исполнителей и руководителей соответствующих уровней.

Представляемая ответственными исполнителями входная оперативная информация может быть классифицирована следующим образом:

- а) оценка изменения состояния начатых работ;
- б) уточнение исходных показателей работ;
- в) изменение исходных определений работ и событий;

- г) введение в сеть новых работ и событий;
- д) исключение из сети ранее предусмотренных работ и событий.

Предусматривается единство форм представления информации по всем событиям и работам сети, независимо от характера этих работ и ведомственной принадлежности их исполнителей.

Поток входной оперативной информации от ответственных исполнителей поступает в вычислительный центр для обработки на ЭВМ. Вся необходимая для анализа фактического состояния работ выходная сводно-аналитическая информация рассылается одновременно руководителям всех уровней, службам СПУ и ответственным исполнителям. Обычно используется разная степень детализации выходной сводно-аналитической информации, каждая из которых соответствует определенному уровню руководства.

После получения преобразованной информации сетевая модель обновляется, анализируется фактический ход разработки и формируются оперативные решения руководства с целью улучшения сетевого графика.

В процессе выполнения процедуры обновления сетевой модели в сетевые графики вносятся все новые работы и события и исключаются все аннулированные; уточняются формулировки определений отдельных работ и событий; производится отметка начатых и законченных работ, а также совершенных событий. Таким образом, обеспечивается постоянное соответствие модели процессу создания нового объекта.

Одной из главных задач руководства в системах СПУ на протяжении всей стадии оперативного управления является изыскание методов и средств сокращения работ, принадлежащих критическому пути (а также путям, близким ему по продолжительности) и принятие решений по предотвращению их срыва.

Для обсуждения результатов анализа состояния работ, проводимого службой СПУ, и принятия оперативных решений руководитель головной организации периодически проводит оперативные совещания. На них принимаются и оформляются окончательно согласованные решения, являющиеся программой действий на предстоящий период времени для руководителей всех уровней и ответственных исполнителей.

Оперативный контроль за выполнением принятых решений осуществляется службой СПУ.

Решения, принимаемые на оперативных совещаниях, и оперативная информация о фактическом ходе работ являются исходными данными для составления календарных планов-графиков, составляемых для разных уровней руководства с разной степенью детализации.

Календарные планы-графики работ в системах СПУ наряду с решениями оперативных совещаний являются средством доведения до исполнителей расчетно-обоснованных заданий по срокам выполнения работ, которые непрерывно корректируются и уточняются в соответствии с изменениями, возникающими в процессе создания нового объекта. С их помощью постоянно уточняется исходный план и практически реализуется принцип непрерывности планирования, составляющий основу всего процесса оперативного управления в системах СПУ.

Поступила в редакцию  
8 VII 1965