

# Технологии СРМ и МРМ

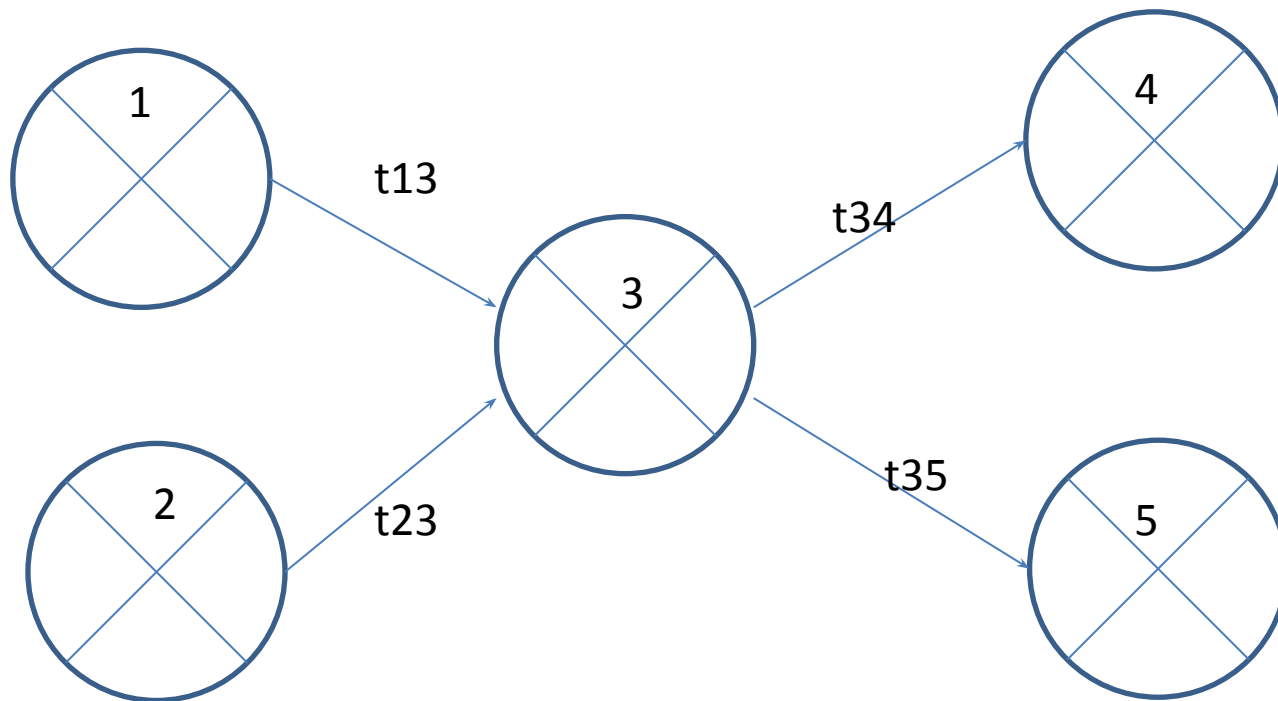
*Сущность СРМ технологии и ее основные положения. Схема применения технологии СРМ. Представление структуры проекта в виде сетевого графика. Определение времени, необходимого для выполнения каждой работы проекта. Определение сроков начала и окончания проекта. Расчет сроков. Расчет резерва времени. Определение критического пути.*

*Сущность МРМ технологии и ее основные положения. Схема применения технологии МРМ. Определение проекта и подготовка к анализу его структуры. Определение зависимости между работами. Составление сетевого графика. Определение нормативной длительности реализации конкретных работ. Расчет самых ранних сроков начала и окончания работ. Расчет срока окончания и самых поздних сроков начала и окончания работ. Расчет резервов времени и определение*

Технология СРМ (Critical Path Method — метод критического пути) относится к группе детерминированных технологий сетевого планирования. Ее **сущность заключается в создании особого сетевого графа** (представляющего работы и события проекта) и в проведении необходимых расчетов по этому графу. Результат расчетов представляет собой план реализации проекта. Этот особый вид графа типа «сеть» называется сетью зависимости, сетевым графиком либо просто сетью. Эта сеть основана на двухточечных сетевых моделях, в которых **работы представляются дугами, а события — узлами графа.**

# Пример графа работ СРМ

1-5 События  $t_{13}$ - $t_{35}$  - работы



Технология CRM используется для планирования и контроля проектов, **технология реализации и организационные взаимосвязи которых считаются известными**. Все работы проекта должны быть реализованы, также необходимо как можно точнее определять длительности их выполнения. К таким проектам относятся строительные и ремонтные инвестиции, а также мероприятия, связанные с единичным изготовлением сложных изделий (например, судов).

Технология CRM была создана в 1956 — 1957 гг. в США, ее изобрели Дж.Е. Келли (J. E. Kelly) из Remington Rand и М.Р. Уолкер (M.R. Walker) из концерна DuPont для поддержки планирования проектов в сфере эксплуатации, модернизации и ликвидации химических предприятий.

При использовании технологии CRM должны быть **известны сроки начала и окончания проекта, последовательность событий и взаимосвязи между ними, а также длительность выполнения работ, которые должны быть реализованы для свершения этих событий.** Событие не свершится, пока не будут выполнены все предшествующие ему работы. Последовательность событий и выполненных между ними работ определяется технологическими и организационными факторами

Сроки старта и завершения проекта определяются в начале процесса планирования с учетом внешних условий.

**Событием** называется наступление некоторого четко определенного состояния.

**Работой** называется некоторая задача, для решения которой требуется время и которая должна быть выполнена между двумя событиями.

**Начало и окончание** работы соответствуют начальному и конечному событиям.

Работы могут быть **реальными** (с ненулевой длительностью выполнения) и **фиктивными** (с нулевой длительностью выполнения),

**Начальное** событие проекта — событие, которым не завершается ни одна работа.

**Конечное** событие проекта — событие, которым не начинается ни одна работа.

**Критический путь** — последовательность работ, объединяющих события, наиболее важные для соблюдения установленного срока реализации проекта. Критический путь определяется в процессе анализа длительности выполнения работ в сети.

Такой анализ основан на взаимосвязях работ и информации о длительности их выполнения.



Планирование и контроль реализации проектов с применением технологии СРМ подразделяются на следующие этапы:

1. Представление структуры проекта в виде сетевого графика.
2. Определение времени, необходимого для выполнения каждой работы проекта.
3. Определение сроков начала и окончания всего проекта.
4. Расчет сроков начала и окончания каждой работы проекта.
5. Расчет резервов времени.
6. Выбор критической последовательности работ, которая обуславливает своевременную реализацию проекта (критического пути).
7. Контроль за выполнением работ, лежащих на критическом пути, а также субкритических работ (имеющих наименьшие резервы времени).
8. Возможный контроль за расходами проекта и за использованием ресурсов (метод СРМ-COST и график использования ресурсов).

Для представления структуры проекта в виде сетевого графика необходимо знать организационные и технологические взаимосвязи между конкретными событиями, составляющими проект. Для определения последовательности свершения событий и выявления зависимостей между ними требуются знания о всех работах, которые должны быть выполнены.

Для того чтобы рассчитать самый ранний возможный срок наступления события, лежащего на соединении нескольких работ, проводятся соответствующие вычисления для каждой пары событий, завершившихся рассматриваемым событием, и выбирается **максимальный** срок. Расчет самых ранних возможных сроков наступления событий в сети называется **просчетом сети «вперед»**. Однако с целью контроля за ходом реализации проекта также важно знать самые поздние допустимые сроки (СПС) наступления событий в сети. Для этого сеть просчитывается «назад». В качестве исходной точки выбирается срок завершения проекта.

Самые ранние возможные и самые поздние допустимые сроки рассчитываются для всех событий сети. Таким образом, для проекта в целом и для всех составляющих его работ мы получаем следующую совокупность плановых параметров:

- длительность выполнения;
- самые ранние возможные и самые поздние допустимые сроки начала;
- самые ранние возможные и самые поздние допустимые сроки окончания.

Следующий шаг — расчет резерва времени  $R_i$  для каждого события. Значение  $R_i$  показывает, насколько может задержаться выполнение последовательности работ, в которой наступает событие.

Критический путь можно определить на основании расчетов резервов времени для всех событий сети. Его образует последовательность работ, объединяющих события с наименьшими резервами времени. Критический путь представляет собой самую длинную дорогу в сети, а длительность ее прохождения равна сроку завершения проекта в целом.

Однако необходимо учитывать, что применение технологии СРМ ограничивается сферой детерминированных зависимостей. Это означает, что **работы в сети должны быть заранее определены на весь период реализации проекта, а их организационные и технологические взаимозависимости должны оставаться неизменными**. Помимо этого, оценки длительности выполнения работ могут оказаться необъективными, т.е. быть слишком оптимистическими или пессимистическими. Существует опасность того, что концентрация внимания только на критическом пути приведет к бесконтрольности подкритических работ.

Технология МРМ (англ. **Metra Potential Method**) была разработана в 1958 г. во Франции организацией SEMA. Это одна из **сетевых технологий** управления проектами. При использовании технологии МРМ проект представляется в форме сетевого графика, иллюстрирующего зависимости между всеми его работами, а длительности выполнения конкретных работ и сроки их начала по отношению к предшествующим работам рассчитываются по определенным правилам с учетом имеющегося опыта.

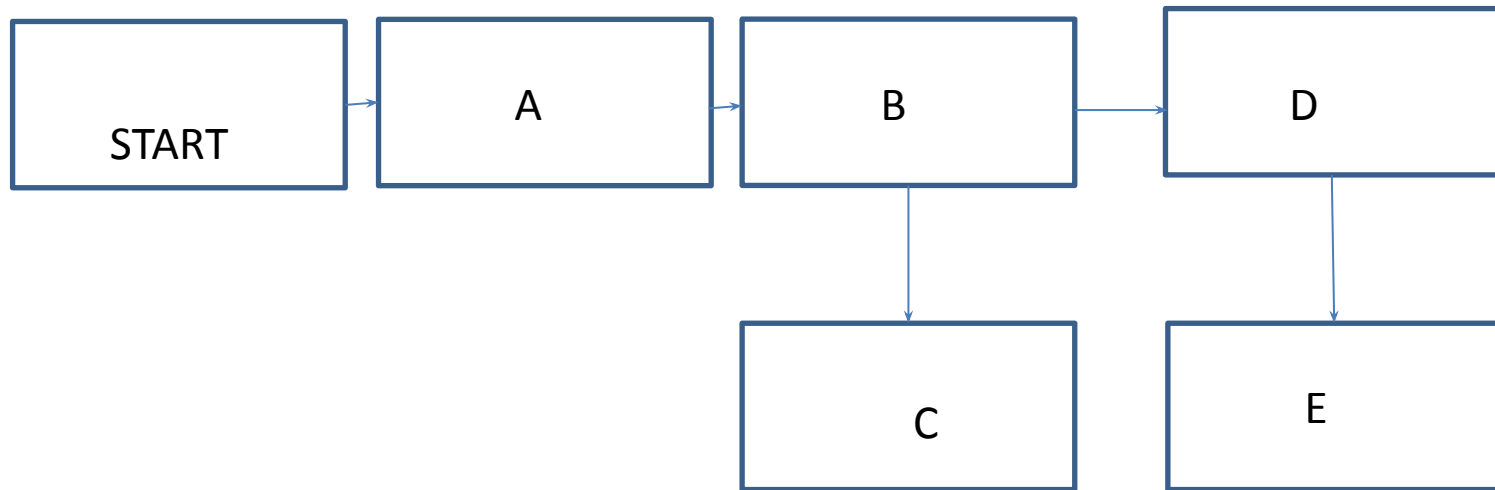
Так же, как при использовании СРМ, с помощью МРМ мы анализируем критические работы в сети искусственной детерминированной структуры. В технологии МРМ работы обозначаются прямоугольниками с указанными внутри номерами и описаниями. Дуги графа показываются горизонтальными, вертикальными и наклонными стрелками и соответствуют связям.



В технологии MPM, использующей одноточечные сетевые модели, работы и события представляются узлами (прямоугольниками) и дугами (стрелками).

**Узлами обозначаются работы**, в прямоугольники вписываются номера работ, их обозначения и конкретная временная характеристика — начало, окончание либо длительности их выполнения. **Дуги показывают направленность связей между узлами — работами, т.е. структурные зависимости между конкретными временами характеристиками различных работ.**

# Пример графа работ по технологии МРМ



Применение технологии МРМ подразделяется на семь основных этапов:

1. Определение проекта и подготовка к анализу его структуры.
2. Определение зависимостей между конкретными работами, входящими в состав проекта.
3. Составление сетевого графика, объединяющего все работы.
4. Определение предполагаемой длительности конкретных работ и указание сроков их начала по отношению к началу предшествующей работы.
5. Расчет самых ранних сроков начала и окончания работ.
6. Расчет срока завершения проекта в целом, самых поздних сроков начала и окончания работ.
7. Расчет резервов времени и определение критических работ.

Согласно технологии МРМ сетевой график имеет начальный узел, не представляющий никакой работы и обозначаемый «Start». Этот узел важен для последующего анализа, поскольку с него начинается расчет сроков начала конкретных работ. По умолчанию длительность начальной работы «Start» равна нулю. **При создании сетевого МРМ графика необходимо помнить, что он не может содержать замкнутых контуров и петель, дважды соединяющих одни и те же события.** Взаимосвязанные работы, объединенные причинно-следственными отношениями, образуют путь. Путь, ведущий от начальной работы к конечной, называется полным путем.

Согласно технологии МРМ мы используем **детерминированные одноточечные сетевые модели**. Длительность выполнения работы считается детерминированной переменной, поэтому длительности выполнения конкретных работ и возможные сроки их начала относительно предшествующих работ определяются на основе накопленного опыта и знаний с учетом фактических условий реализации. Чаще всего эти значения определяются лицами, непосредственно занимающимися реализацией как мероприятия в целом, так и его отдельных работ.

Благодаря применению направленных линий (дуг), показывающих связи между работами, а также цифровым обозначениям над и под этими линиями на сетевом графике можно точно определить срок начала каждой работы относительно срока начала непосредственно предшествующей ей работы.

Применяются следующие принципы **обозначения дуг:**

- положительное значение над дугой означает самый ранний срок начала последующей работы, считая от момента начала предшествующей работы;
- отрицательное значение под обратной дугой означает самый поздний срок начала последующей работы, считая от момента начала предшествующей работы;

При фиксации отмеченных зависимостей возможны следующие ситуации:

- определен только самый ранний срок начала последующей работы относительно момента начала предшествующей работы
- определен точный срок начала последующей работы относительно момента начала предшествующей работы.
- определены самый ранний и самый поздний сроки начала последующей работы относительно момента начала предшествующей работы
- последующая работа должна начаться одновременно с предшествующей работой.



# Пример временных соотношений



**Достоинствами** технологии МРМ считаются:

- ее пригодность для управления большими проектами;
- прозрачность концепции и невысокая вычислительная сложность;
- графическое представление в форме сетевого графика, позволяющее быстро идентифицировать взаимосвязи работ;
- возможность определения критических работ, требующих особого внимания с точки зрения своевременной реализации проекта;
- возможность легко распределить ответственность за конкретные фазы проекта благодаря наглядности сетевой модели;
- возможность оценки срока завершения проекта;
- выделение работ, которые могут быть начаты позже либо выполняться дольше без удлинения срока реализации всего проекта (расчет резервов времени для каждой работы);
- в процессе реализации проекта в любой момент времени можно проверить, выполняется ли он согласно графику, с задержкой либо с опережением.

В качестве **недостатков** технологии МРМ можно указать:

- МРМ нельзя считать технологией принятия оптимальных решений, поскольку решение о начале реализации проекта принимается до начала ее применения;
- работы должны быть однозначно определены и неизменны, а зависимости между ними постоянны, поэтому сеть оказывается формализованной и не позволяет гибко реагировать на изменения ситуации в ходе реализации проекта; длительности выполнения работ устанавливаются субъективно, в связи с чем на них отражается излишний оптимизм или пессимизм лиц, планирующих проект;
- существуют риск излишней концентрации внимания на критических работах и недостаток внимания к остальным работам и путям;
- МРМ нельзя считать технологией оценки проекта с точки зрения его привлекательности либо длительности реализации;
- проекты, особенно очень сложные, с течением времени претерпевают изменения, поэтому сеть, построенная в начале реализации проекта, через некоторое время может уже не соответствовать его структуре и содержанию;
- не все взаимосвязи работ можно установить заранее, на практике последовательности работ в некоторых проектах могут изменяться.

# Технологии PERT, GERT и LOB

*Сущность технологии PERT и ее основные положения. Схема применения технологии PERT. Определение проекта и подготовка к анализу его структуры. Определение зависимостей между работами. Составление сетевого графика проекта. Определение нормативной длительности реализации конкретных работ. Расчет ожидаемой длительности выполнения работ и ее стандартного отклонения. Определение критического пути. Применение сетевого графика для достижения заданных целей. Технология PERT-COST.*

*Сущность технологии GERT и ее основные положения. Схема применения технологии. GERTS – модификация технологии.*

*Технология LOB и ее основные положения. Схема применения технологии LOB. Составление сетевого графика «работа – дуга». Проведение расчета в обратном направлении при заданном нулевом сроке выполнения последней работы. Упорядочивание работ по убыванию равновесных номеров недель и построение циклограммы. Построение графика и накопительной системы поставок. Составление балансовой таблицы. Применение балансовой таблицы и циклограммы для контроля процесса реализации проекта.*

Технология PERT (англ. Program Evaluation and Review Technique— технология оценки и просмотра планов) была разработана по заказу Военно-морского флота США в период реализации проекта по созданию атомной подводной лодки «Поларис». Это одна из сетевых технологий.

Она позволяет получить ответы на следующие вопросы:

- Когда проект будет завершен?
- Какие работы и задачи, входящие в состав проекта, считаются для него критическими, вызовет ли их задержка удлинение срока реализации всего проекта?
- Какие работы и задачи, входящие в состав проекта, могут быть начаты позднее либо выполняться дольше без удлинения срока реализации всего проекта, т.е. какие работы не считаются для него критическими?
- Какова вероятность завершения проекта в установленный срок?
- Реализуется ли проект согласно графику, с задержкой либо с опережением?

Так же, как и при использовании технологии СРМ, в технологии PERT анализируется критический путь по сети искусственной детерминированной структуры. Технология PERT предоставляет дополнительную возможность статистической оценки длительности выполнения конкретных работ и соответственно вероятности своевременной реализации каждого этапа проекта.

Процесс применения технологии PERT разбивается на семь основных этапов;

1. Определение проекта и подготовка к анализу его структуры.
2. Определение зависимостей между работами, входящими в состав проекта.
3. Составление сетевого графика проекта.
4. Оценка и приписывание каждой работе временной характеристики: оптимистической, наиболее вероятной или пессимистической длительности.
5. Расчет математического ожидания и стандартного отклонения длительности выполнения работ.
6. Определение критического пути,
7. Применение сетевого графика для достижения поставленных целей.



Как уже отмечалось, проекты играют роль предмета технологии сетевого планирования. В процессе планирования выделяются события и работы. Событие определяется как наступление четко определенного состояния. В отличие от событий работы представляют собой выделенные фрагменты проекта с точно установленными сроками начала и окончания, для реализации которых необходимы соответствующие средства и время. События обозначают окончание одной или нескольких работ и/или начало одной или нескольких последующих работ. Событию приписывается конкретный срок на временной оси, однако само событие не имеет длительности.

Работы и события представляются узлами (окружностями) и линиями дугами (стрелками). В сетевом графике узлы играют роль точек пересечения, а дуги — роль направленных связей между узлами. Принципы составления сетевых графиков, применяемых в технологии PERT, аналогичны принципам, сформулированным для технологии СРМ.

На сетевом графике под дугами последовательно указываются самая оптимистическая, самая реальная и самая пессимистическая длительности выполнения работы:

- самой оптимистической длительностью называется наиболее короткий из всех возможных срок окончания работы (существует очень малая вероятность, обычно не превышающая 1% того, что работа будет выполнена за еще более короткий срок);
- самой вероятной длительностью называется наиболее реальный срок окончания работы;
- самой пессимистической длительностью называется наиболее поздний возможный срок окончания работы (существует очень малая вероятность, обычно не превышающая 1% того, что работа будет выполнена за еще более длинный срок).

**Оценки длительностей работ основаны на вероятностных методах**

Технология PERT основана на анализе критического пути проекта. Этот анализ должен состоять в следующем:

- все задачи и работы, входящие в состав проекта, должны быть точно определены и, безусловно, приводить к его завершению;
- конкретные задачи и работы независимы друг от друга, они могут начинаться, приостанавливаться и выполняться по отдельности, в рамках соответствующих сетевых путей;
- задачи и работы упорядочены и выполняются в определенной последовательности.

При анализе критического пути можно отметить следующий факт: поскольку ожидаемые длительности выполнения работ содержат в себе некоторую долю неопределенности, то ожидаемая длительность реализации всего проекта также не будет детерминированной величиной. Для разрешения выявленной проблемы необходимо определить вероятную погрешность оценок путем расчета стандартного отклонения длительности реализации всего проекта  $T$ . Этот параметр рассчитывается как квадратный корень из суммы квадратов стандартных отклонений длительностей выполнения работ, лежащих на критическом пути.

Технология PERT имеет следующие достоинства:

- пригодна для управления большими проектами;
- характеризуется прозрачной концепцией и невысокой вычислительной сложностью;
- графическое представление проекта в форме сетевого графика позволяет быстро выявить взаимосвязи работ;
- позволяет выявить критический путь, за работами которого необходимо установить особый контроль ввиду их важности для своевременной реализации проекта;
- позволяет легко распределять ответственность за отдельные фазы проекта благодаря наглядности модели сетевого графика;
- позволяет установить срок завершения проекта;
- позволяет установить работы, критические для своевременной реализации проекта, задержки с выполнением которых вызовут увеличение длительности этой реализации, а также выявить работы и задачи, которые могут быть начаты позже либо выполняться дольше без увеличения сроков реализации проекта;
- позволяет определить вероятность завершения проекта к заданному сроку;
- в любой момент времени можно проверить, соответствует ли выполнение проекта графику, имеется ли запаздывание либо работы ведутся с опережением;
- в любой момент времени можно проверить, соответствует ли фактическое расходование средств бюджету проекта;
- в процессе реализации проекта можно установить, достаточны ли имеющиеся ресурсы для его своевременного выполнения;
- в случае необходимости завершить проект раньше установленного срока можно определить способ достижения этой цели с минимальными затратами.

Технология PERT имеет следующие недостатки:

- PERT нельзя считать технологией принятия оптимальных решений, поскольку решение о начале реализации проекта принимается до начала ее применения;
- работы должны быть однозначно определены и неизменны, а зависимости между ними постоянны, поэтому сеть оказывается формализованной и не позволяет гибко реагировать на изменения ситуации в ходе реализации проекта;
- длительности выполнения работ оцениваются субъективно, в связи с чем на них отражается излишний оптимизм или пессимизм лиц, планирующих проект;
- существует риск излишней концентрации внимания на критических работах и недостатка внимания к остальным работам и путям, при этом некоторые работы вне критического пути затягиваются, что вызывает увеличение длительности проекта в целом;
- PERT нельзя считать технологией оценки инвестиционного проекта с точки зрения его привлекательности либо длительности реализации;
- очень сложные проекты с течением времени претерпевают изменения, поэтому сеть, построенная в начале реализации проекта, через некоторое время может уже не соответствовать его структуре и содержанию;
- не все взаимосвязи работ можно установить заранее, на практике последовательность работ в некоторых проектах может изменяться;
- исследования свидетельствуют, что применение технологий PERT и СРМ не оказывает существенного влияния на технологию реализации проекта, однако они уменьшают риск перерасхода бюджета и несоблюдения сроков реализации проекта.

Модификация технологии PERT - PERT-COST. Она предназначена для поиска оптимального сокращения длительности проекта в сетях PERT при минимальных затратах.

Можно выделить следующие этапы применения технологии PERT-COST:

1. Определение срока окончания и критического пути на основе ожидаемых нормальных длительностей выполнения работ (по аналогии с технологией PERT).
2. Выбор критических работ и расчет для них градиентов издержек.
3. Исключение из набора тех критических работ, для которых средний градиент издержек не существует.
4. Начало процесса сокращения длительностей работ с той критической работы, которая имеет наименьший градиент издержек.
5. Сокращение длительности работы на как можно большее количество единиц времени с учетом двух ограничений:
  - предельной длительности выполнения этой работы.
  - появления нового критического пути — если резерв времени в последовательности некритических работ исчезнет.
6. Если в сети имеются два или более критических пути, то следует сокращать длительности на одну и ту же величину на всех параллельных критических путях.
7. Кратчайшая длительность реализации проекта достигается в случае, когда длительности выполнения всех работ, лежащих на критическом пути, достигнут значения  $t$ . Дальнейшее сокращение длительности реализации проекта уже невозможно.
8. Издержки ускорения на каждом этапе рассчитываются как произведение градиента издержек конкретной работы на количество единиц времени, на которое эта критическая работа была сокращена. Совокупные издержки ускорения реализации проекта представляют собой сумму издержек ускорения отдельных работ.



Решение сетевых моделей методом последовательного сокращения сети на практике оказывается очень трудоемким. Сложность проблемы поиска решения привела к необходимости использовать для этой цели имитационные решения, основанные на методе Монте-Карло. Примером подобного вычислительного подхода может служить технология GERTS (Graphical Evaluation and Review Technique Simulation).

Схема применения этой технологии выглядит следующим образом:

1. Применим генераторы случайных чисел, имеющиеся в пакетах программ на большинстве компьютеров, со следующей целью:

а) для узлов, имеющих альтернативные выходы, генерируем случайные числа согласно распределению вероятностей на этих выходах; эти числа однозначно определяют подсеть, представляющую собой один из возможных вариантов мероприятия;

б) для каждой работы подсети, полученной в п. а), генерируем случайное число согласно распределению вероятности, характеризующей длительность выполнения этой работы.

2. Рассматривая полученные в п. 1 данные как детерминированные, вычисляем интересующие нас характеристики, например, срок завершения проекта и резервы времени. Для этого используются технологии, соответствующие детерминированным моделям, в частности СРМ. Полученные на этом шаге результаты фиксируются в памяти компьютера.

Применение сетевых моделей GERT для планирования и управления научно-исследовательскими и проектными работами позволяет:

- обеспечить гораздо большую компактность, чем при использовании других методов;
- ранжировать решения по вероятности достижения успеха;
- быстро определять влияние новой информации о значениях параметров на конечное событие благодаря использованию вычислительной техники;
- применять имитационное моделирование для оценки научно-исследовательских и проектных мероприятий;
- динамически оптимизировать моделируемые структуры;
- модифицировать анализируемые процессы;
- создавать наглядные графические представления о процессе реализации всего мероприятия (так же как и при использовании традиционных технологий, например, СРМ и PERT).

Технология линии балансировки LOB (англ. Line of Balance), иначе называемая технологией уравнивания однонаправленных процессов, была создана и стала популярной раньше, чем сетевые технологии. Однако в отличие от методов, основанных на анализе критического пути и чаще всего предназначенных для планирования и реализации одиночных проектов, технология линии балансировки применяется в повторяющихся проектах или задачах.

Применение технологии LOB базируется на следующих предпосылках:

- процесс реализации проекта должен подразделяться на отдельные, четко определенные фазы, которые можно контролировать;
- длительность реализации каждой фазы должны быть известны; е временная диаграмма поставок известна;
- ресурсы, используемые для реализации проектов, неограниченны. Технология LOB чаще всего применяется при строительстве типовых домов, производства серийных изделий (например, автомобилей или компьютеров), а также при выпуске одиночной партии изделий, особо важных для предприятия.

Применение технологии LOB подразделяется на 6 основных этапов:

1. Составление сетевого графика типа «работа — дуга», иллюстрирующего логические взаимосвязи элементов проекта.
2. Проведение расчета в обратном направлении при заданном нулевом сроке последней работы, т.е. определение так называемых равновесных номеров недель.
3. Упорядочение работ по убыванию равновесных номеров недель и построение циклограммы — графа сети с учетом масштаба времени.
4. Построение графика и накопительной таблицы поставок.
5. Составление балансовой таблицы.
6. Применение балансовой таблицы и циклограммы для контроля процесса реализации проекта.

Первый шаг при использовании технологии LOB для анализа серии проектов или задач — определение логических зависимостей между работами и событиями, входящими в состав одиночного проекта. Для этого необходимо составить сетевой график, в котором работы будут обозначаться дугами (направленными линиями), а события — вершинами (окружностями). В соответствии со спецификой проекта сеть может содержать несколько начальных работ и событий, однако она должна завершаться единственным конечным событием. Чаще всего граф сети начинается с конечного события в направлениях к различным начальным работам. События, обозначаемые узлами, могут не иметь никаких описаний, однако для удобства и наглядности графа их можно обозначать, например, буквами. Названия конкретных работ указываются на графе над дугами, а длительности их выполнения — под дугами.

Достоинствами технологии LOB можно считать:

- применимость для управления проектами, состоящими из серий повторяющихся частных мероприятий;
- прозрачная концепция и невысокая вычислительная сложность;
- наглядное представление в форме графика линии балансировки и балансовой таблицы;
- в любой момент реализации проекта можно выявить как отстающие от графика работы, так и слишком опережающие его;
- возможность выявления работ, которые могут быть начаты позднее либо выполняться в течение более длительного времени.



В качестве недостатков технологии LOB можно отметить:

- необходимость точного выделения фаз проекта, подлежащих особому контролю;
- необходимость определения длительности выполнения работ уже на этапе планирования;
- должна быть известна временная диаграмма поставок/производства;
- ресурсы предполагаются неограниченными;
- LOB не считается технологией принятия оптимальных решений, поскольку главное решение о реализации проекта уже принято;
- LOB не считается технологией оценки проекта с позиций его привлекательности либо длительности реализации.



