

Методы управления проектами

Методом управления проектами называют способ управления, определяющий множество и систему действий, а также указывающий средства, необходимые для их выполнения.

С точки зрения их применения они могут быть универсальными (методы сетевого планирования и контроля реализации проектов) и специальными (метод оценки трудоемкости и стоимости строительных работ).



Методы управления проектами различаются по сфере применения, которая определяет к какой части процесса управления применяется соответствующий способ деятельности.

Выделяются комплексные методы, которые охватывают весь процесс управления, и частные методы, затрагивающие отдельные части этого процесса (фазы, этапы, работы) либо его различные аспекты.



Систематизация методов управления проектами



Методические правила представляют собой первичную форму обобщения методического опыта, применяемую при отсутствии более точных и научно обоснованных методов.

Методическими подходами называются общие методы, определяющие способы выработки комплексных и частных проектных решений.

Методики – детально проработанные комплексные методы управления проектами. Как правило, методики содержат описания частных методов, которые должны применяться при реализации конкретных этапов процесса управления проектами.

Частные методы называют **технологиями** управления проектами.



Методы управления проектами

Форма стандартизации Сфера приложения методов	Частные методы	Общие методы	Методические правила
Комплексные методы	PRINCE 2, PMI, IPMA, APM	Методические подходы: прагматический, системный, решающий	Принципы организации Меллеровича, правила составления хорошего плана Т. Котарбиньского, двенадцать правил управления проектами Дж.Р. Мередита и С.Дж. Мантеля
Частные (фрагментарные) методы	Временные диаграммы, сетевые технологии: CPM, PERT, MPM, GERT, технологии дерева зависимости: PATTERN, CPE, технологии оценки	Методы анализа, диагноза, моделирования, оценки, выбора	Принципы определения требований, десять принципов оценки трудоемкости

Учебники и учебные пособия, содержащие описания методик управления проектами

1. Троцкий М. и др. Управление проектами /М. Троцкий, Б. Груча, К. Огонек; Пер. с польск. – М.: Финансы и статистика, 2011. – 304 с.: ил.
2. Управление проектом. Основы проектного управления: учебник/ кол. Авторы; под ред. М.Л. Разу. – М.: КНОРУС, 2013. – 768 с.
3. Мередит Дж., Мантел С. Управление проектами. 8-е изд. – СПб.: Притер, 2014. – 640 с.: ил.

Технологии
организации
проектного
коллектива

Технологии
управления
проектами

Технологии
описания
структуры
проекта

Технология
временных
диаграмм

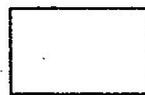
Технологии организации проектного коллектива

1. Технология декомпозиции Г. Шмидта
2. Технология органограммы
3. Технология функциональных (компетентностных) схем

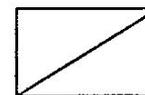
Технология декомпозиции Г. Шмидта

a	b	c	d	e	f	
1						a
1.1	1.2	11 1.3.9.9	12 1.4.9.9			b
1.1.1.9	1.1.2	4 1.1.3.9	5 1.1.4.9			c
2 1.1.2.1	3 1.1.2.2					d
6 1.2.1.9	7 1.2.2.9	1.2.3				e
8 1.2.3.1	9 1.2.3.2	10 1.2.3.3				f

1-12 — элементарные задачи



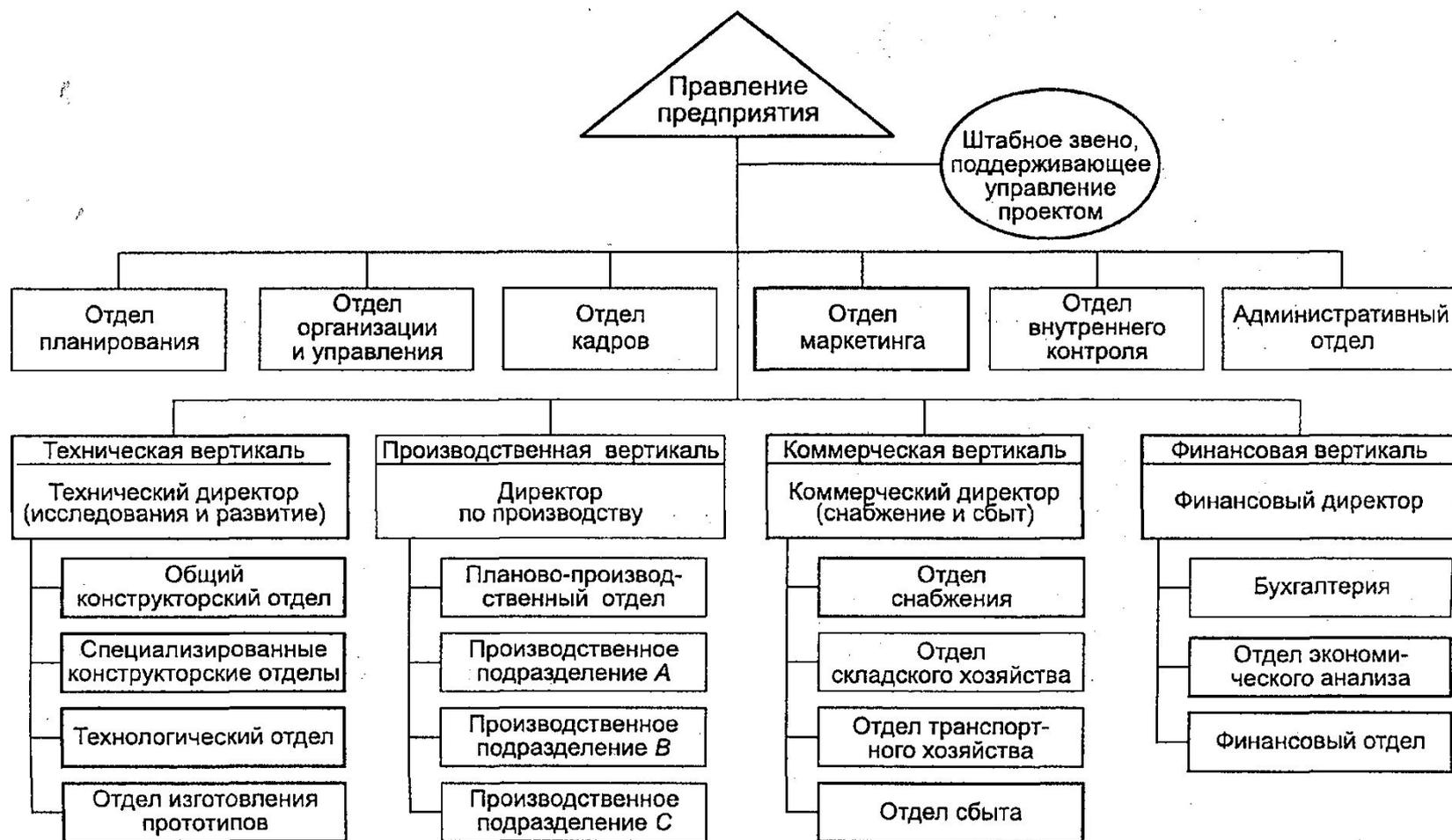
элементарные задачи,
не подлежащие дальнейшей декомпозиции



сложные задачи,
подлежащие дальнейшей декомпозиции

Уровни декомпозиции				Номер элементарной задачи
3	2	1	0	
		1.1.1		1.
			1.1.2.1	2.
	1.1	1.1.2	1.1.2.2	3.
		1.1.3		4.
		1.1.4		5.
1		1.2.1		6.
		1.2.2		7.
	1.2		1.2.3.1	8.
		1.2.3	1.2.3.2	9.
			1.2.3.3	10.
	1.3			11.
	1.4			12.

Технология органограммы



□ подразделения, участвующие в реализации проекта

**Элементарные работы, применяемые на функциональных
(компетентностных) схемах**

Название работы (функции, компетенции)	Буквенное обозначение
Инициирование реализации задач	<i>I</i>
Планирование реализации задач	<i>P</i>
Принятие решений по вопросам, связанным с реализацией задач, – в общем смысле	<i>D</i>
Подготовка решений	<i>D_p</i>
Принятие принципиальных решений	<i>D_z</i>
Принятие решений в исключительных ситуациях	<i>D_w</i>
Принятие решений в нормальных ситуациях	<i>D_n</i>
Совместное принятие решений, участие в принятии решений	<i>W_d</i>
Высказывание мнения	<i>O</i>
Надзор за решением задачи, распределение, оперативное руководство	<i>N</i>
Решение задачи – в общем смысле	<i>W</i>
Решение задачи в особых ситуациях	<i>W_s</i>
Контроль за решением задачи	<i>K</i>
Координация работ, связанных с решением задачи	<i>O^a</i>

Технологии описания структуры проекта

1. Структурные списки
2. Графические структурные схемы
3. Сетевые графики

Структурные списки

Функциональная (компетентностная) схема распределения полномочий и ответственности в сфере реализации проекта

Задачи	Звенья структуры														
	Правление предприятия	Руководитель проекта	Управление маркетинга	Технический директор (исследование и развитие)	Общий конструкторский отдел	Специализированные конструкторские отделы	Технологические отделы	Отдел изготовления прототипов	Коммерческий директор (снабжение и сбыт)	Отдел снабжения	Отдел сбыта	Финансовый директор	Отдел экономического анализа	Финансовый отдел	Внешние партнеры
Выдвижение инициативы развития продукта	I, N		I	I					I			I			I
Исследование и анализ рынка			I, P, D, N, K, W								O				W
Определение бюджета конструкторских работ	D _i	I, K		O	W							P, D, N	W		
Создание концепции развития продукта	D _i	I, K	O	P, D, K	W						O		O		
Выбор средств для реализации конструкторских работ	D _i , N	I, K		O								P, D, K		W	
Оценка концепции, разработка решений и принципов продолжения работ	D _i	I, K	D _i	P, D _i	D _i						O		O		

**Пример структуры проекта, представленной в форме
кооперативного структурного списка**

Название работы	Предшествующая работа	Последующая работа
Выдвижение инициативы развития продукта	—	2,3
Исследование и анализ рынка	1	2
Определение бюджета конструкторских работ	1	5,6
Создание концепции развития продукта	2	5
Подбор средств для реализации конструкторских работ	3, 4	7
Оценка концепции, выработка решений и принципов продолжения работ	3	5
Разработка принципов конструктивного решения	5	8
Проектирование конструкции продукта	7	9, 10, 20
Проектирование конструкции составных элементов продукта	8	10, 12
Создание технологии изготовления прототипа	9	13
Составление плана технологических и рыночных исследований прототипа	7	14
Составление спецификации материалов для изготовления прототипа	9	15
Изготовление прототипа	10	16
Выбор места и исполнителей исследований прототипа	11	17
Заказ и доставка материалов для изготовления прототипа	12	13
Исследование прототипа	13, 17	18
Распределение задач по исследованию прототипа	14	16
Оценка результатов исследования прототипа	16	19, 21
Внесение конструктивных изменений	18	21
Предварительная калькуляция стоимости продукта	7	21
Принятие решений о продолжении исследовательских и проектно-конструкторских работ	18, 19, 20	—

**Пример структуры проекта, представленной в форме иерархического
структурного списка**

Нумерация элементов (структурная)	Элементы структуры
1.	Конструктивное развитие продукта
1.1.	Концептуальная подготовка развития продукта
1.1.1.	Выдвижение инициативы развития продукта
1.1.2.	Исследование и анализ рынка
1.1.3.	Определение бюджета конструкторских работ
1.1.4.	Создание концепции развития продукта
1.1.5.	Подбор средств для реализации конструкторских работ
1.1.6.	Оценка концепции, выработка решений и принципов продолжения работ
1.2.	Развитие конструкции
1.2.1.	Разработка принципов конструктивного решения
1.2.2.	Проектирование конструкции продукта
1.2.3.	Проектирование конструкции составных элементов продукта
1.3.	Создание прототипа
1.3.1.	Создание технологии изготовления прототипа
1.3.2.	Составление спецификации материалов для изготовления прототипа
1.3.3.	Заказ и доставка материалов для изготовления прототипа
1.3.4.	Изготовление прототипа
1.4.	Исследование прототипа
1.4.1.	Составление плана технологических и рыночных исследований прототипа
1.4.2.	Выбор места и исполнителей исследований прототипа
1.4.3.	Распределение задач по исследованию прототипа
1.4.4.	Исследования прототипа
1.5.	Оценка и использование исследований прототипа
1.5.1.	Оценка результатов исследования прототипа
1.5.2.	Внесение конструктивных изменений
1.5.3.	Предварительная калькуляция стоимости продукта
1.5.4.	Принятие решений о продолжении исследовательских и проектно-конструкторских работ



Рис. 2.П. Пример структуры проекта, представленной в форме вертикальной пирамидальной схемы

Технология временных диаграмм

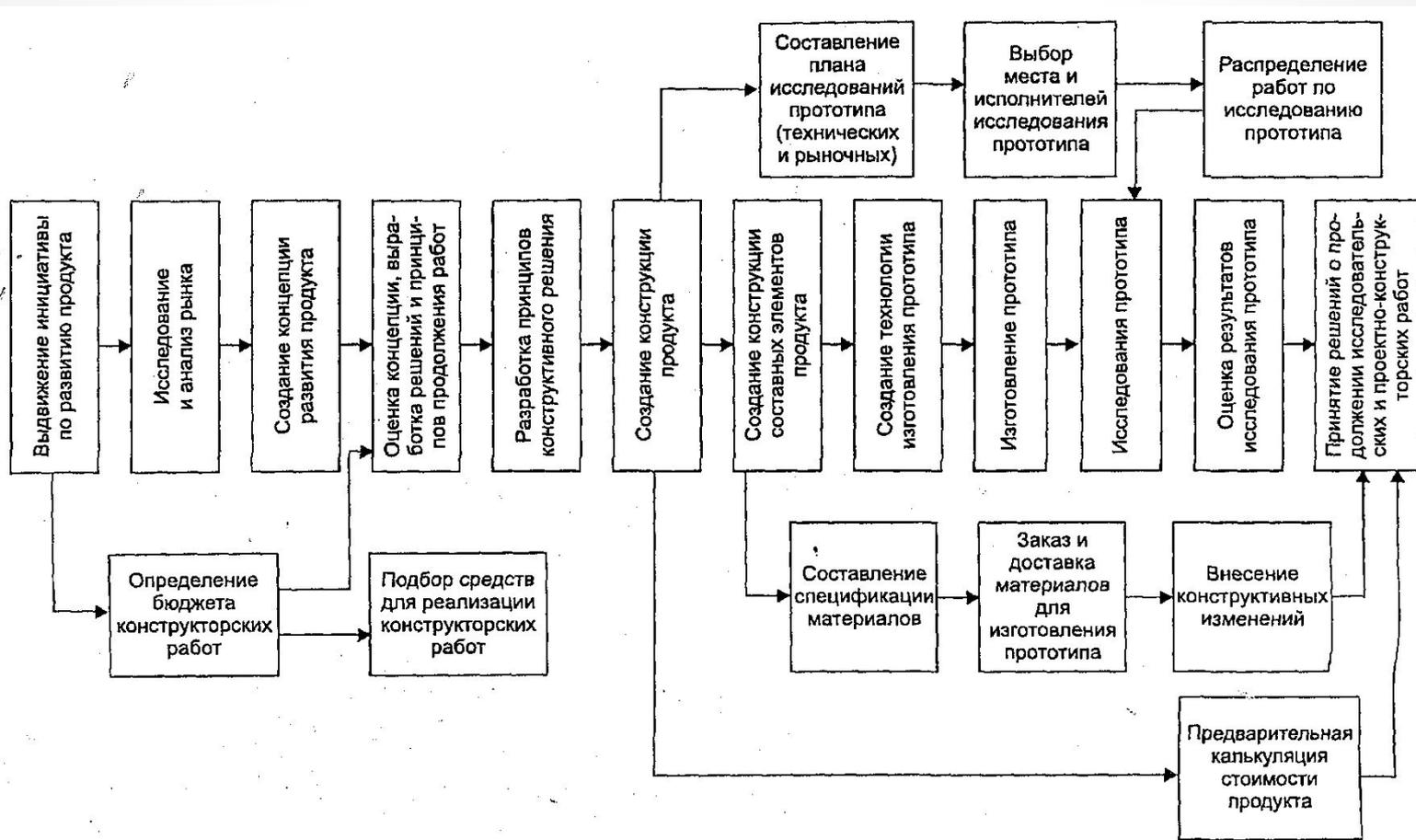
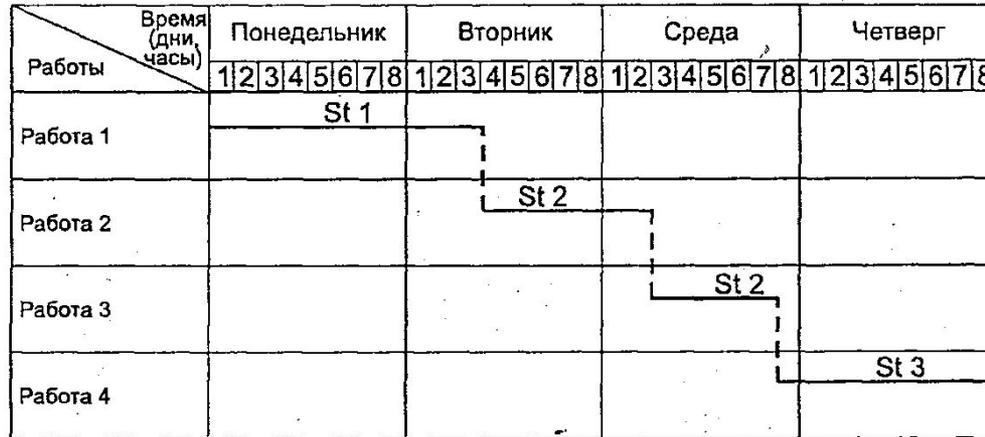


Рис. 3.П. Пример сетевой структуры проекта с представлением работ в виде вершин графа



Рис. 4.П. Пример сетевой структуры проекта с представлением работ в виде дуг графа

а) Временная диаграмма хода реализации работ



St 1 - St 3 — рабочие места

б) Временная диаграмма использования исполнительских мощностей



A1 - A4, B1 - B4, C1 - C4 — работы по изготовлению узлов А, В и С
 ~~~~~ — простои рабочих мест

Рис. 5.5. Примеры основных видов временных диаграмм

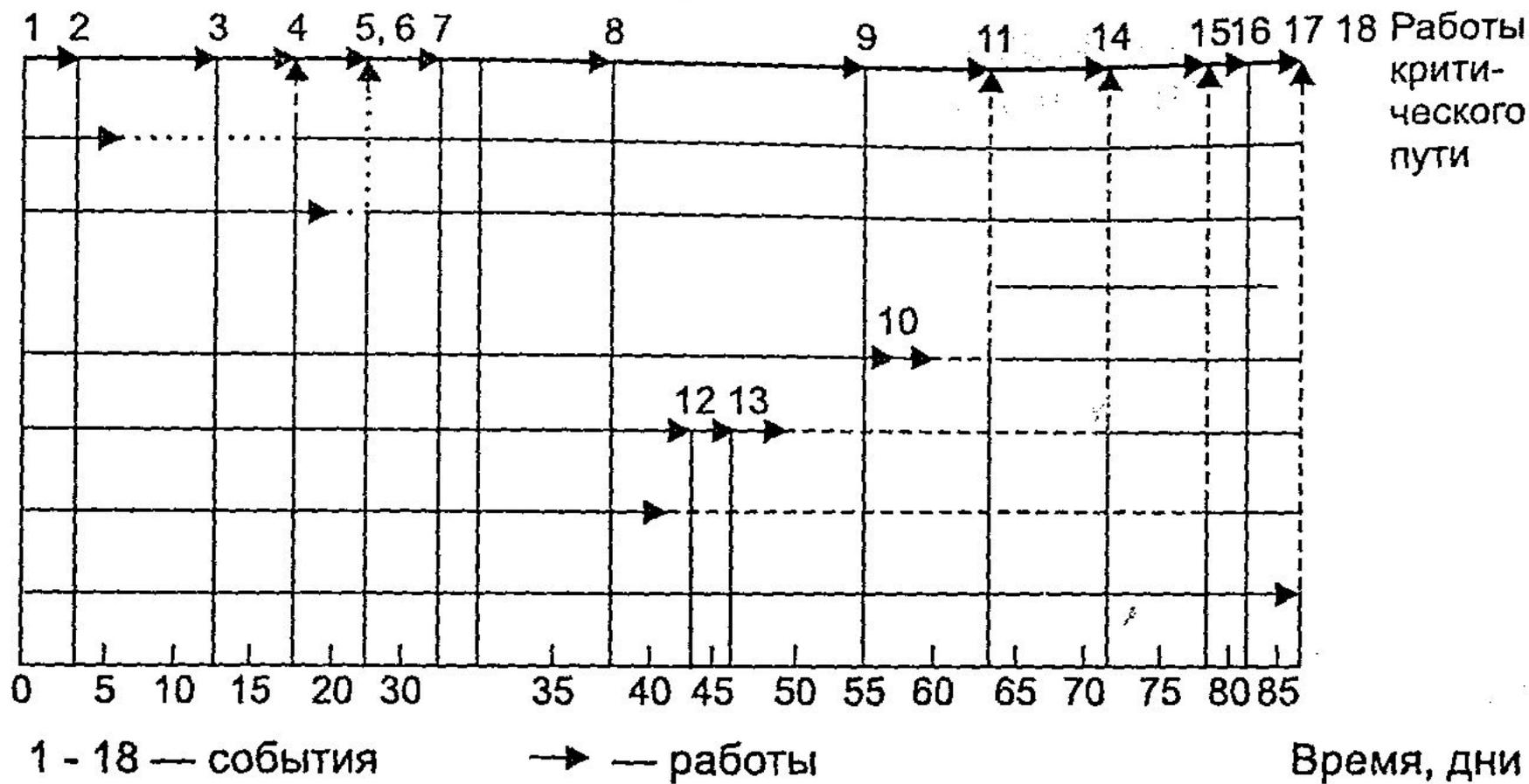
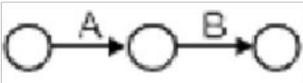
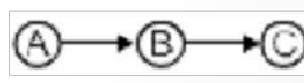
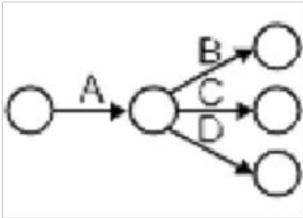
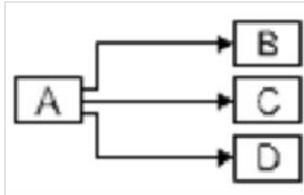
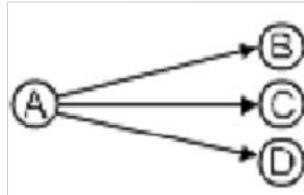
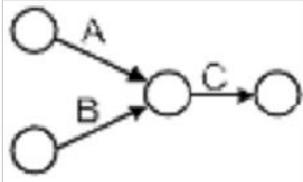
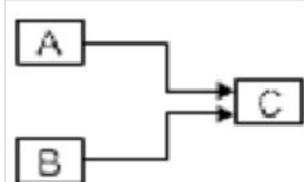
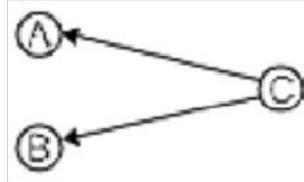
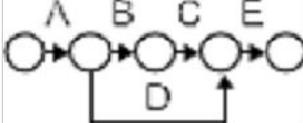
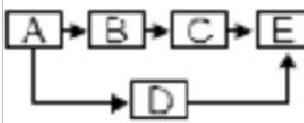
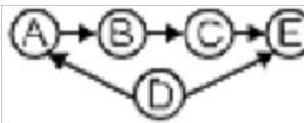
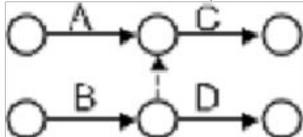
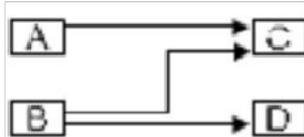


Рис. 5.П. Временно-ориентированная сеть — пример проекта

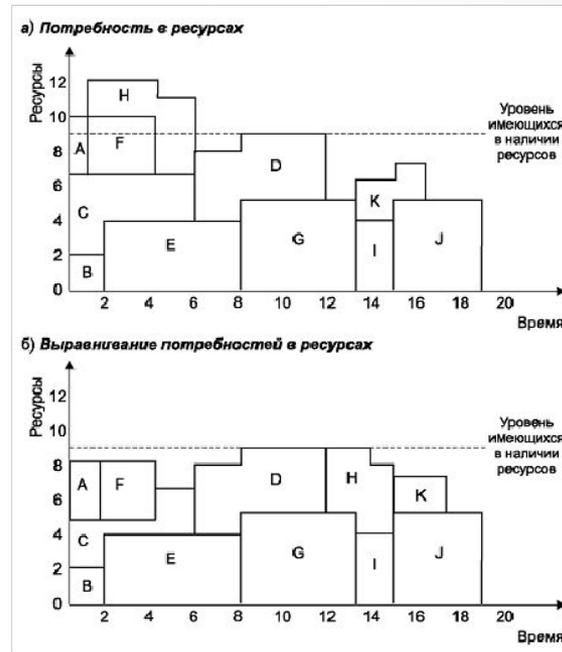
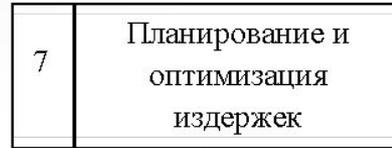
# Сетевые технологии

| Принцип / Характеристика                                             | Сеть «работа-дуга»                                                                  | Сеть «работа-узел»                                                                                   | Сеть «событие-узел»                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                    | 2                                                                                   | 3                                                                                                    | 4                                                                                     |
| Пример технологии                                                    | CPM                                                                                 | MPM                                                                                                  | PERT                                                                                  |
| Чаще всего применяется для                                           | планирования простых мероприятий                                                    | планирования и контроля сложных мероприятий                                                          | контроля мероприятий                                                                  |
| Определение сроков                                                   | сроки выполнения работ определяются детерминированно                                | сроки выполнения работ определяются детерминированно                                                 | сроки выполнения работ считаются случайными переменными                               |
| Значение дуг                                                         | событие как момент начала или окончания работы                                      | 1) описание работы как единого целого<br>2) определенный момент времени, начало или окончание работы | событие как точка в процессе реализации проекта                                       |
| Значение линий                                                       | структурные зависимости между начальными и конечными событиями одних и тех же работ | структурные зависимости между определенными моментами выполнения различных работ                     | структурные зависимости между событиями                                               |
| Простое отношение «следовать за...» между двумя работами (событиями) |  |                  |  |

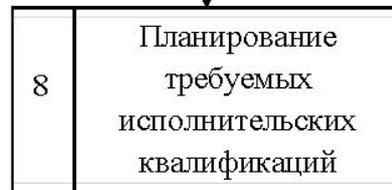
| 1<br>Пример<br>технологии                                                                                                           | 2<br>CPM                                                                                                                                                  | 3<br>MPM                                                                                                                 | 4<br>PERT                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Отношение «следовать за...» с разветвлением типа «И» (работа или событие имеет несколько следующих за ним работ или событий)</p> |                                                                          |                                        |                                                        |
| <p>Отношение «следовать за...» с разветвлением типа «И» (работа или событие имеет несколько предшествующих работ или событий)</p>   |                                                                          |                                        |                                                        |
| <p>Представление параллельных событий (работ)</p>                                                                                   |                                                                          |                                        |                                                        |
| <p>Существование так называемых фиктивных работ, иллюстрирующих логические связи между работами</p>                                 | <p>существуют фиктивные работы (обозначаемые пунктирными линиями)</p>  | <p>фиктивные работы отсутствуют</p>  | <p>фиктивные работы – только начало и окончание</p>  |



Стоимостной анализ

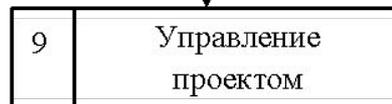


Планирование требуемых квалификаций



Для реализации работы Д необходимо привлечь 3 работника квалификации...  
Должностная инструкция работника квалификации...

Управление проектом



- организация выполнения проекта
- контроль подготовки и выполнения проекта
- координация подготовки и выполнения проекта
- завершение проекта

### Обзор сетевых технологий

| Элементы       | Основные технологии                                                                                                    |                                                       | Расширенные технологии                                                                         |                                                                            | Специальные технологии                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | Детерминированные процессы                                                                                             | Детерминированные сроки                               | Стохастические процессы                                                                        | Стохастические сроки                                                       | Планирование расходов                                                                                                                                                                                                                                                   | Планирование исполнительских мощностей                                                                                                                                                                                                               |
| Характеристика | Представление процесса реализации проекта в виде детерминированного комплекса работ и событий в форме сетевого графика | Детерминированное определение сроков выполнения работ | Представление процесса реализации проекта и его возможных вариантов в виде стохастической сети | Вероятностный расчет наиболее правдоподобных значений временных параметров | <p>Основанные на технологии PERT расчеты затрат на реализацию проекта и их сравнение с фактическими затратами</p> <p>Основанные на технологии CPM расчеты экономически эффективной длительности реализации проекта, ориентированные на сокращение этой длительности</p> | <p>Компьютерные программы для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• определения потребностей в исполнительских мощностях</li> <li>• выравнивания нагрузок</li> <li>• оптимизации затрат и использования исполнительских мощностей</li> </ul> |
| Технологии     | CPM, PERT, MPM, PDM                                                                                                    | CPM                                                   | GERT                                                                                           | PERT, GERT                                                                 | PERT-COST, CPM-COST                                                                                                                                                                                                                                                     | CPM – ресурсы<br>Фирменные компьютерные программы                                                                                                                                                                                                    |

# Технология СРМ

Технология СРМ (англ. 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.



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

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

# Этапы 1 и 2.

Сетевая модель (сетевой график, сеть) представляет собой ориентированный граф, изображающий все необходимые для достижения цели проекта операции в технологической взаимосвязи.

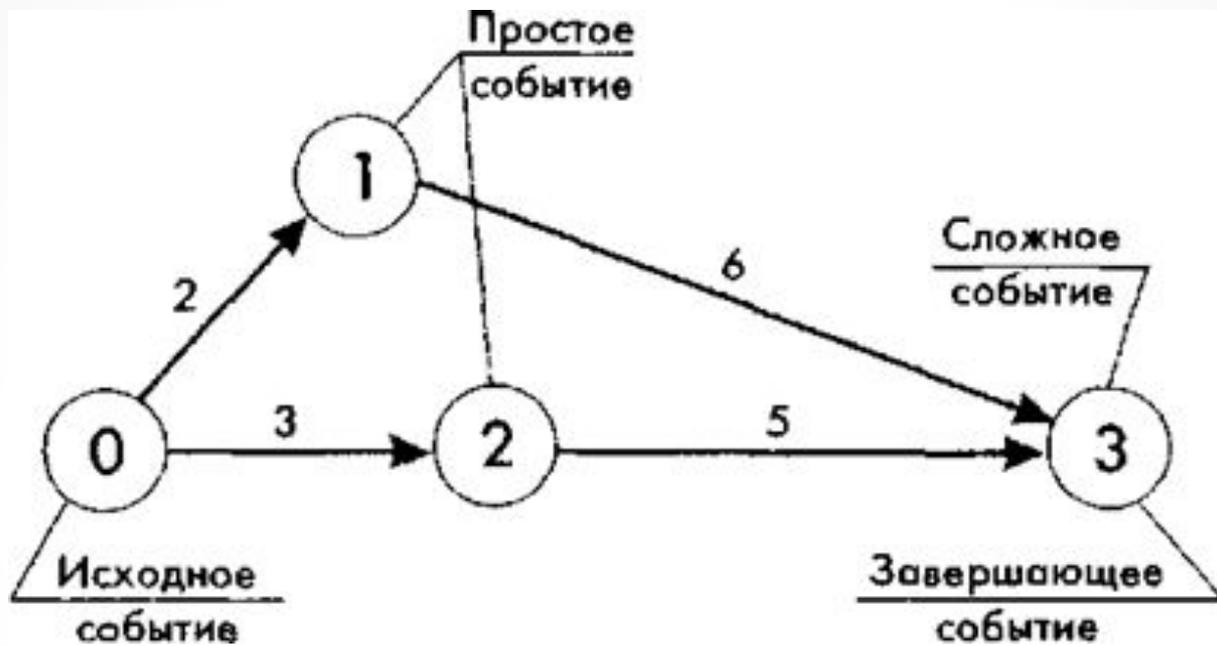
Основными элементами сетевой модели являются:

- работа;
- событие;
- путь.

*Работа* — это трудовой процесс, требующий затрат времени и ресурсов. В сетевой модели работа изображается в виде сплошной стрелки (дуги графа), над которой стоит цифра, показывающая ее продолжительность (обычно в днях). Работа идентифицируется номерами начального и конечного события (например, работа 1—2, 3—4). В более сложных сетевых моделях на графике указываются (сверху или снизу от стрелок) наименование, стоимость, объем работ, ответственные исполнители, количество необходимых ресурсов. Если модель не имеет каких-либо числовых показателей и обозначений, она называется *структурной сетевой моделью*, или *топологией*.

*Событие* — это результат выполнения одной или нескольких работ, позволяющий начинать следующую работу. Как правило, в сетевых моделях событие изображается в виде кружка.

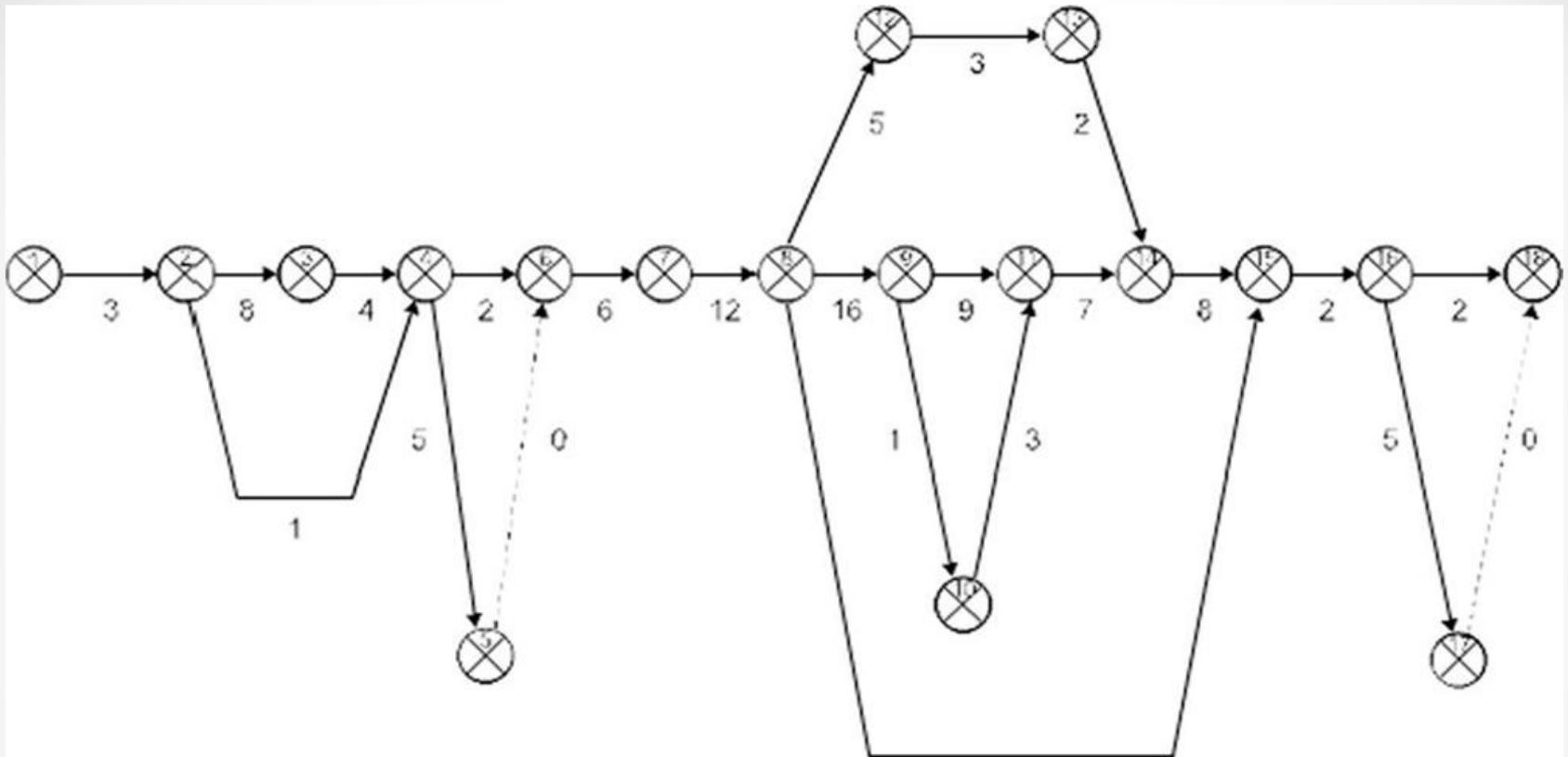
Событие не является процессом и не имеет длительности, т.е. совершается мгновенно. Поэтому каждое событие, включаемое в модель, должно быть полно и точно определено (с точки зрения логической связи работ), его формулировка должна включать результат всех непосредственно предшествующих ему работ.



События в сетевой модели

## Работы проекта, длительности их выполнения и зависимости между работами

| №<br>п/п | Название работы                                                   | Длительность | Непосредственный предшественник |
|----------|-------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 1        | Выдвижение инициативы развития продукта                           | 3            | -                               |
| 2        | Определение бюджета конструкторских работ                         | 1            | 1                               |
| 3        | Исследование и анализ рынка                                       | 8            | 1                               |
| 4        | Создание концепции развития продукта                              | 4            | 2                               |
| 5        | Оценка концепции, выработка решения и принципов продолжения работ | 2            | 2,3                             |
| 6        | Подбор средств для реализации конструкторских работ               | 5            | 2,3                             |
| 7        | Разработка принципов конструктивного решения                      | 6            | 5,6                             |



Сетевой график проекта

# Этап 3.

Сроки начала ( $T_n$ ) и окончания ( $T_o$ ) проекта определяются лицами, планирующими проект, с учетом внешних требований и ограничений. Эти сроки могут быть обусловлены инвестиционным циклом, финансовыми возможностями и другими факторами.

# Этапы 4 и 5.

| № п/п | Название параметра                                | Условное обозначение |
|-------|---------------------------------------------------|----------------------|
| 1     | Код работы (начальное событие - конечное событие) | $i-j$                |
| 2     | Код работы, предшествующей данной работе          | $h-i$                |
| 3     | Код работы, следующей за данной работой           | $j-k$                |
| 4     | Продолжительность работы                          | $t_{i-j}$            |
| 5     | Путь                                              | $L$                  |
| 6     | Продолжительность пути                            | $T_L$                |
| 7     | Критический путь                                  | $L_{кр}$             |
| 8     | Продолжительность критического пути               | $T_{Lкр}$            |
| 9     | Раннее начало работы                              |                      |
| 10    | Раннее окончание работы                           |                      |
| 11    | Позднее начало работы                             |                      |
| 12    | Позднее окончание работы                          |                      |
| 13    | Общий (полный) резерв времени работы              | $R_{i-j}$            |
| 14    | Частный (свободный) резерв времени работы         | $r_{i-j}$            |
| 15    | Коэффициент напряженности работы                  | $K_{i-j}$            |

# Формулы для расчета аналитических параметров:

$$K_{\text{рО}} = K_{\text{рН}} + K_{\text{рО}}^{\text{св}}$$

$$K_{\text{рН}} = K_{\text{рО}}^{\text{св}}$$

$$K_{\text{пН}} = K_{\text{пО}} - K_{\text{рО}}^{\text{св}}$$

$$K_{\text{пО}} = K_{\text{пН}}$$

$$K_{\text{рО}}^{\text{св}} = K_{\text{пО}} - K_{\text{рО}}^{\text{св}}$$

$$K_{\text{рН}}^{\text{св}} = K_{\text{пН}} - K_{\text{рН}}^{\text{св}}$$

$$K_{\text{рН}}^{\text{св}} = K_{\text{рН}}^{\text{св}} - K_{\text{рО}}^{\text{св}}$$

$$K_{\text{рО}}^{\text{св}} = 1 - \frac{K_{\text{рО}}^{\text{св}}}{K_{\text{р}} - K_{\text{р}}^{\text{св}}}$$



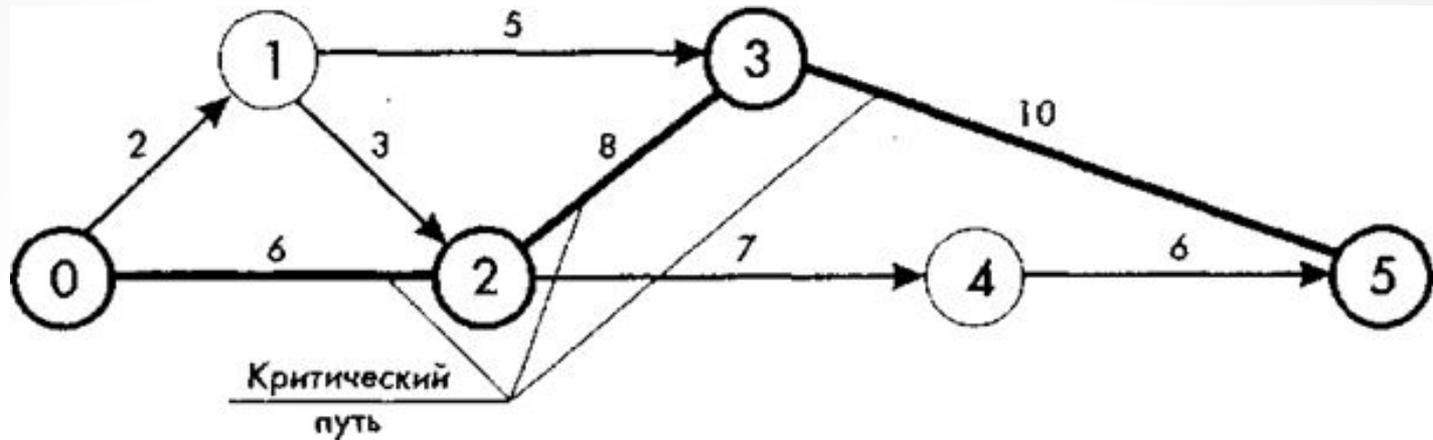
В графу 1 вносится количество работ, предшествующих рассчитываемой, в графу 2 — номера начальных событий рассчитываемых работ, в графу 3 — номера конечных событий рассчитываемых работ, в графу 4 — ранние начала работ, в графу 5 — продолжительности выполнения работ, в графу 6 — ранние окончания работ, в графу 7 — поздние окончания работ, в графу 8 — продолжительности выполнения работ, в графу 9 — поздние начала работ, в графу 10 — общие резервы работ, в графу 11 — частные резервы работ.

Графы 1, 2, 3, 5 и 8 заполняются данными из сетевого графика. Затем сверху вниз заполняются графы в таком порядке: 4 и 6, 7 и 9, 10, 11.

# Этап 6.

*Путь* — это непрерывная последовательность работ от исходного до завершающего события сетевой модели. Суммарная продолжительность работ, лежащих на пути, определяет *длину пути*.

Путь с наибольшей длиной называется критическим. *Критический путь* определяет общую продолжительность проекта.



Критический путь в сетевой модели

# Этап 7.

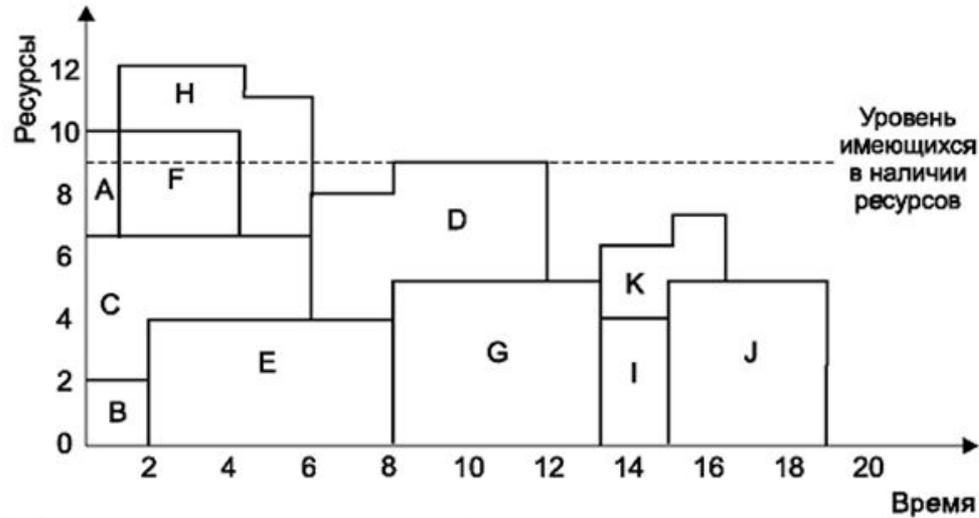
Контроль за выполнением работ, лежащих на критическом пути, а также субкритических работ (имеющих наименьшие резервы времени)

# Управление ресурсами проекта

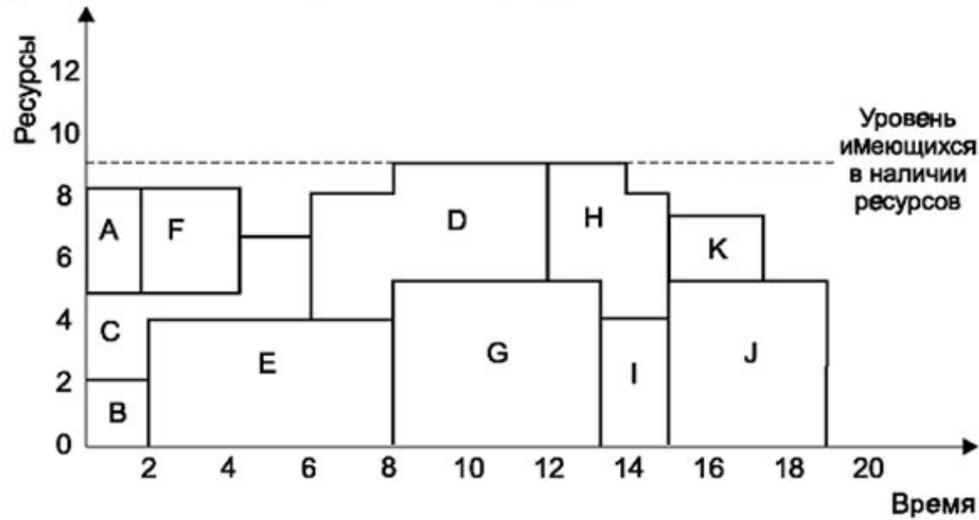
Следующий этап управления проектами — планирование ресурсов, необходимых для его реализации. Этот вид планирования охватывает следующие операции:

- 1) Определение потребности в ресурсах для выполнения конкретных проектных работ.
- 2) Планирование трудовых и материальных ресурсов.
- 3) Планирование издержек.
- 4) Планирование финансирования проекта.
- 5) Составление бюджета проекта.
- 6) Утверждение руководством плановых ресурсов.
- 7) Принятие решения о начале выполнения проекта.

**а) Потребность в ресурсах**



**б) Выравнивание потребностей в ресурсах**



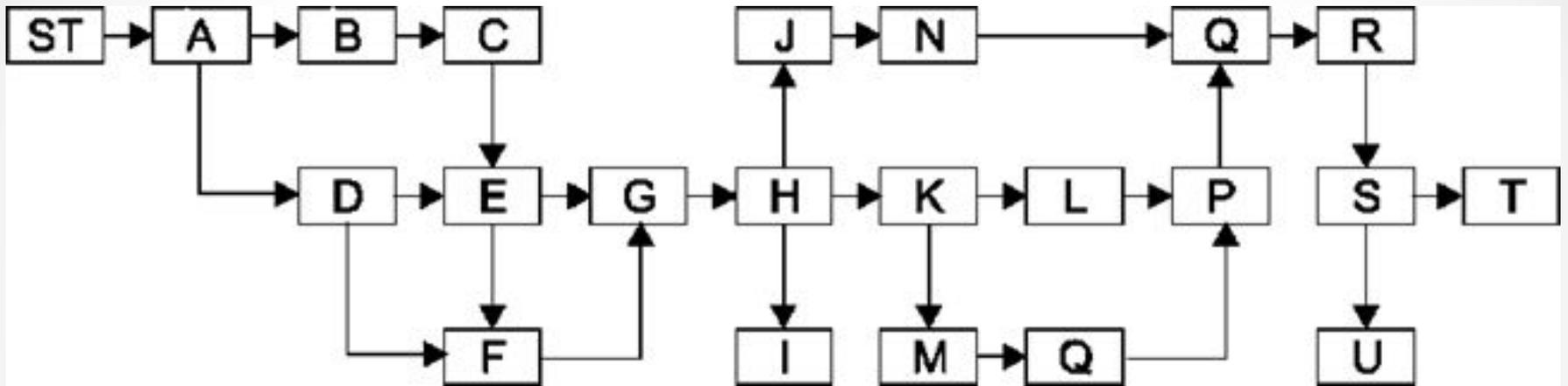
Планирование использования ресурсов

# Технология МРМ

Технология МРМ (англ. *Metra Potential Method*) была разработана в 1958 г. во Франции организацией *Societe d'Economie et de Mathematique Appliqmes* (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.

Применение технологии МРМ подразделяется на семь основных этапов:

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



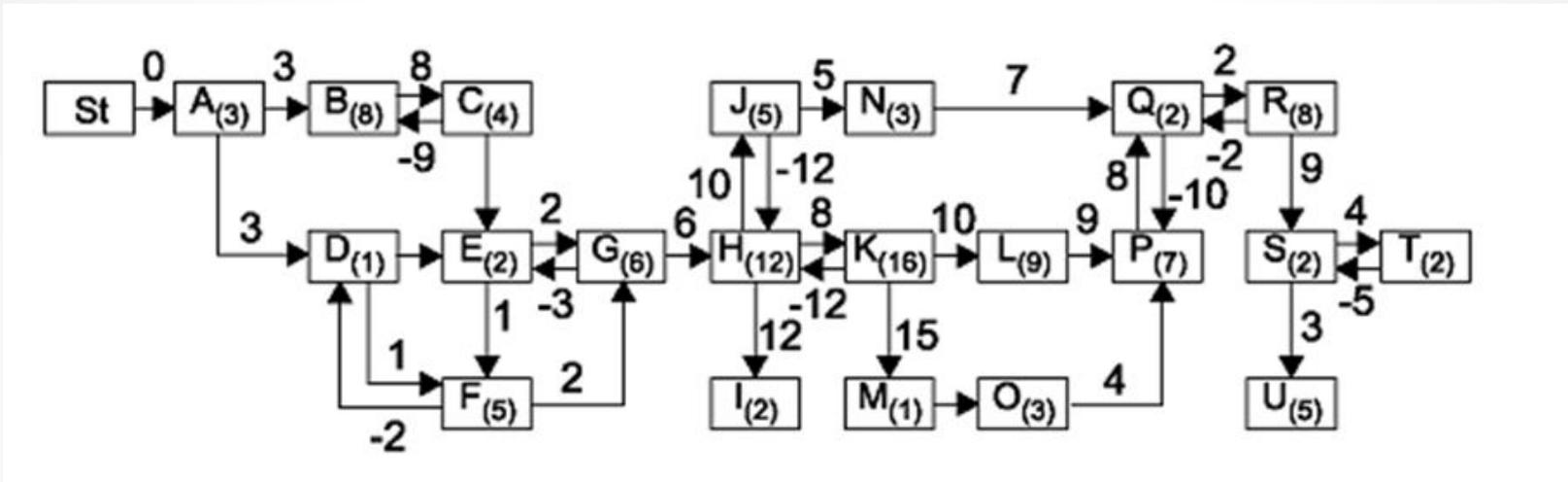
Пример сетевой структуры проекта с представлением работ в виде узлов

|    | ST | A | B | C | D  | E | F | G  | H  | I | J  | K   | L   | M | N  | O  | P | Q | R | S | T   | U  |   |    |
|----|----|---|---|---|----|---|---|----|----|---|----|-----|-----|---|----|----|---|---|---|---|-----|----|---|----|
| ST | 0  | 0 |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   |    |
| A  |    |   | 3 | 3 |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   |    |
| B  |    |   |   | 8 |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   |    |
| C  |    |   |   |   | -9 |   | 4 |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   |    |
| D  |    |   |   |   |    | 1 | 1 |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   |    |
| E  |    |   |   |   |    |   | 1 | 2  |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   |    |
| F  |    |   |   |   |    |   |   | -2 | 2  |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   |    |
| G  |    |   |   |   |    |   |   |    | -3 |   | 6  |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   |    |
| H  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   | 12 | 10  | 8   |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   |    |
| I  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   |    |
| J  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    | -12 |     |   |    | 5  |   |   |   |   |     |    |   |    |
| K  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     | -12 |   | 10 | 15 |   |   |   |   |     |    |   |    |
| L  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   | 9 |   |   |     |    |   |    |
| M  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    | 1 |   |   |   |     |    |   |    |
| N  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   | 7 |     |    |   |    |
| O  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    | -3 |   | 4 |   |   |     |    |   |    |
| P  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   | 8 |     |    |   |    |
| Q  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   | -10 | 2  |   |    |
| R  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     | -2 | 9 |    |
| S  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    | 4 | 3  |
| T  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   | -5 |
| U  |    |   |   |   |    |   |   |    |    |   |    |     |     |   |    |    |   |   |   |   |     |    |   |    |

← конец дуги

↑ начало дуги

Матрица временных зависимостей между работами, входящими в состав проекта



Пример сетевой структуры проекта с учетом длительностей выполнения конкретных работ и возможных сроков их начала

|            | ST | A | B | C  | D  | E  | F  | G  | H  | I  | J  | K   | L   | M  | N  | O  | P  | Q  | R  | S  | T  | U  | $t_i$ | $T_i^{Co}$ | $T_i^{Co+t_i}$ |    |
|------------|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|------------|----------------|----|
| ST         | 0  | 0 |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 0     | 0          | 0              |    |
| A          |    |   | 3 |    | 3  |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 3     | 0          | 3              |    |
| B          |    |   |   | 8  |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 8     | 3          | 11             |    |
| C          |    |   |   |    | -9 |    | 4  |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 4     | 11         | 15             |    |
| D          |    |   |   |    |    | 1  | 1  |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 1     | 14         | 15             |    |
| E          |    |   |   |    |    |    | 1  | 2  |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 2     | 15         | 17             |    |
| F          |    |   |   |    |    |    |    | -2 | 2  |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 5     | 16         | 21             |    |
| G          |    |   |   |    |    |    |    |    | -3 | 6  |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 6     | 18         | 24             |    |
| H          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    | 12 | 10  | 8   |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 12    | 24         | 36             |    |
| I          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 2     | 36         | 38             |    |
| J          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | -12 |     |    | 5  |    |    |    |    |    |    |    | 5     | 34         | 39             |    |
| K          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     | -12 |    |    | 10 | 15 |    |    |    |    |    | 16    | 32         | 48             |    |
| L          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    | 9  |    |    |    |    | 9     | 42         | 51             |    |
| M          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    | 1  |    |    |    |    |    | 1     | 47         | 48             |    |
| N          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    | 7  |    |    |    | 3     | 39         | 42             |    |
| O          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 3     | 48         | 51             |    |
| P          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 7     | 52         | 59             |    |
| Q          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 2     | 60         | 62             |    |
| R          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 8     | 62         | 70             |    |
| S          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       | 2          | 71             | 73 |
| T          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       | 2          | 75             | 77 |
| U          |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       | 5          | 74             | 79 |
| $T_i^{Co}$ | 0  | 0 | 3 | 11 | 14 | 15 | 16 | 18 | 24 | 77 | 48 | 32  | 43  | 47 | 53 | 48 | 52 | 60 | 62 | 71 | 77 | 74 | 79    |            |                |    |
| $T_i^{Co}$ |    |   |   | 12 |    |    | 16 | 18 |    |    | 36 | 36  |     |    |    | 50 | 62 | 62 | 76 |    |    |    |       |            |                |    |
| $T_i^{Co}$ | 0  | 0 | 3 | 11 | 14 | 15 | 16 | 18 | 24 | 77 | 36 | 32  | 43  | 47 | 63 | 48 | 52 | 60 | 62 | 71 | 76 | 74 | 79    |            |                |    |

- Матрица проекта с расчетными значениями  $T_i^{1p-}$  и  $T_i^{1p}$

# Технология PERT

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.

При использовании технологии PERT проект представляется в форме сетевого графика, иллюстрирующего связи между всеми работами и событиями, входящими в его состав, а вероятность его своевременной реализации определяется согласно основным положениям этой технологии с применением стохастических методов.

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.



# Схема применения технологии PERT

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.

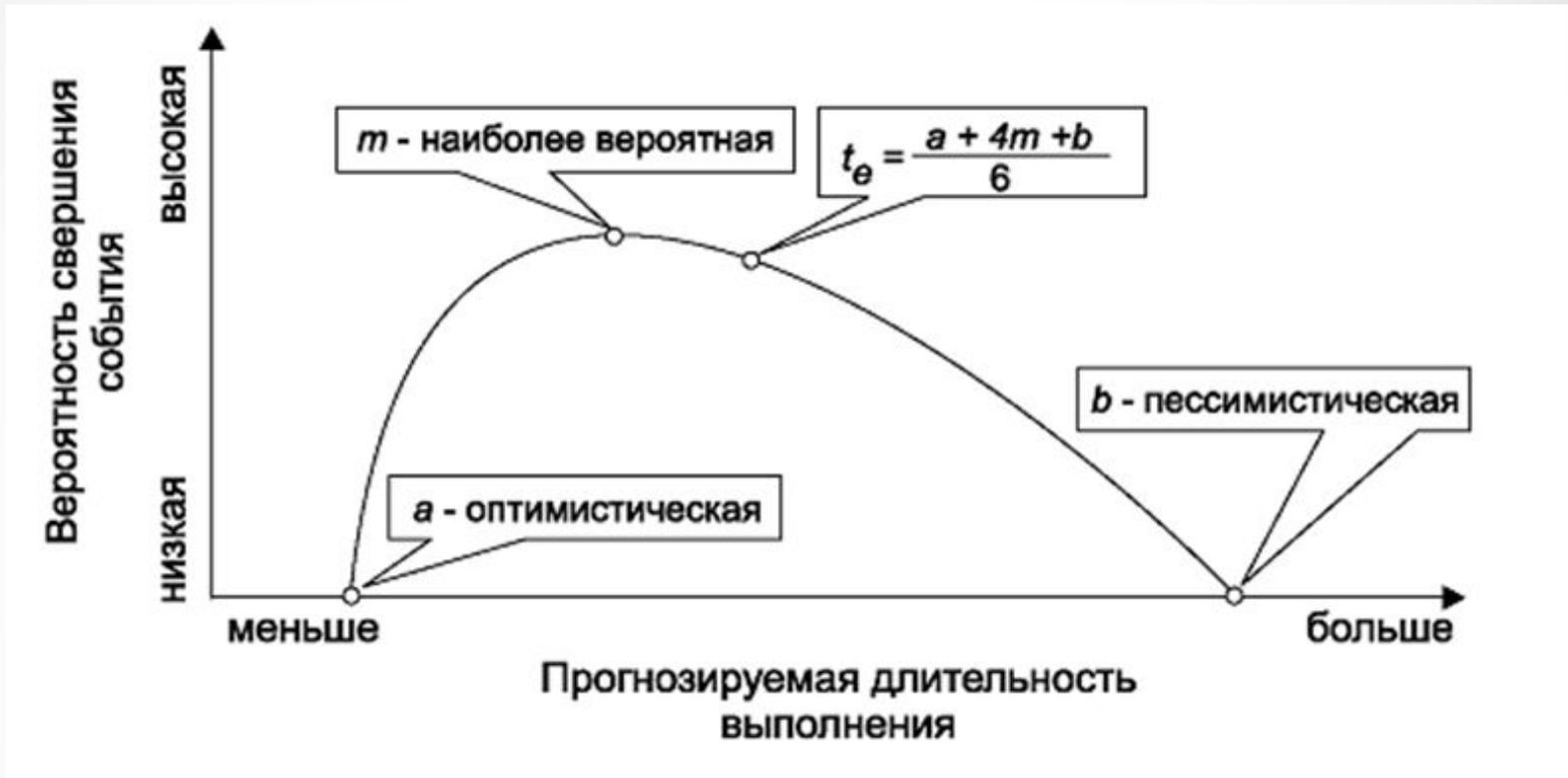
## *Расчет ожидаемой длительности выполнения работ и ее стандартного отклонения*

Расчет ожидаемой длительности выполнения каждой работы  $n$ , входящей в состав проекта, по формуле

$$t_{en} = \frac{a_n + 4m_n + b_n}{6}$$

Параметр, определяющий вероятное отклонение от ожидаемого значения и называемый стандартным отклонением  $\sigma_n$ , рассчитывается для каждой работы по формуле

$$\sigma_n = \frac{b_n - a_n}{6}$$



β-распределение оценок длительности выполнения работы

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  $T_e$ . Этот параметр рассчитывается как квадратный корень из суммы квадратов стандартных отклонений длительностей выполнения работ, лежащих на критическом пути:

$$\sigma T_e = \sqrt{\sum \sigma_n^2}$$

По известной ожидаемой длительности реализации проекта и ее стандартному отклонению можно рассчитать вероятность завершения проекта к любому произвольному моменту времени. Эта вероятность будет иметь нормальное распределение, поскольку со статистических позиций именно так будут распределены отличия фактической длительности реализации от расчетного значения.



# Технология GERT

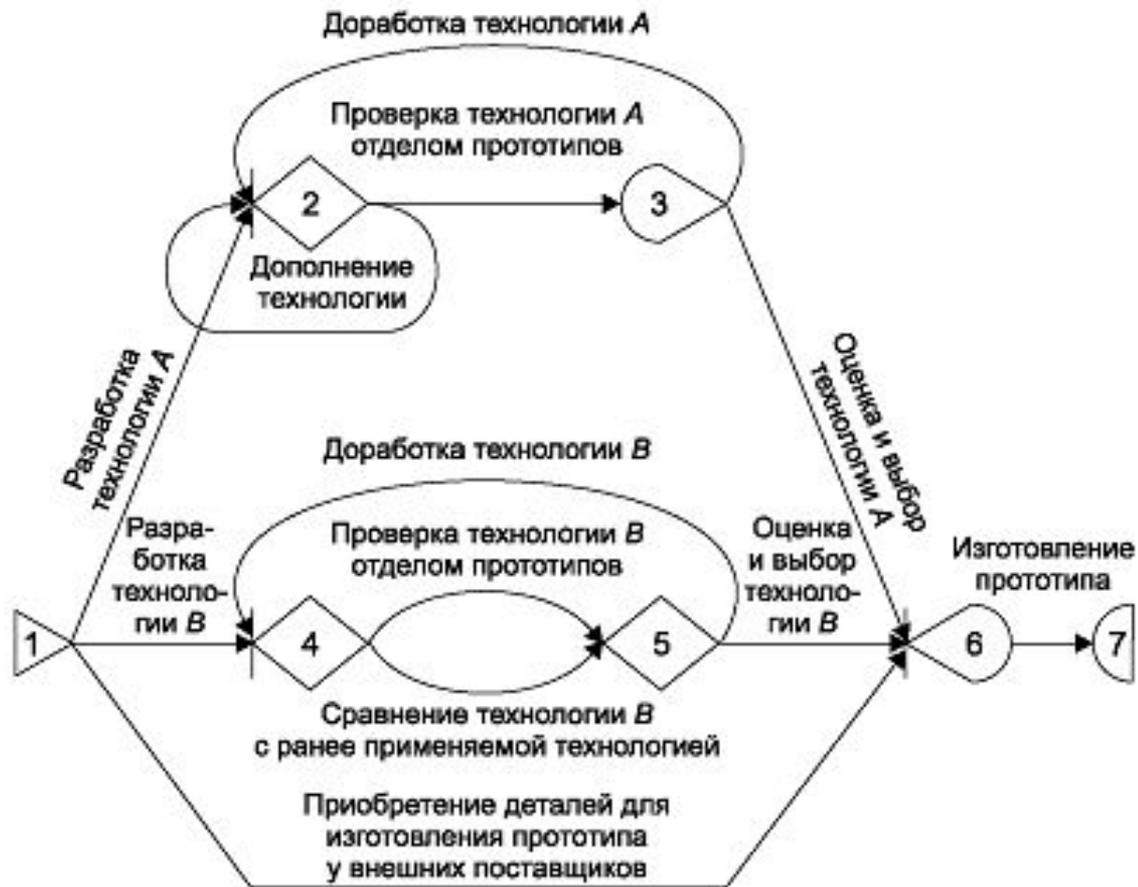
Среди технологий, основанных на стохастических сетях, внимания заслуживает технология GERT (*Graphical Evaluation and Review Technique*). В ней используются как элементы алгебры графов С.Е. Элмаграби, так и сети GAN.

Процедуру применения технологии GERT можно подразделить на следующие этапы:

- Описание проекта стохастической сетью.
- Сбор числовых данных, характеризующих каждую дугу сети.
- Минимизация построенной стохастической сети.
- Преобразование замещающей сети (или функции) к форме, позволяющей определить длительности и вероятности реализации проекта, а также расчет этих длительностей и вероятностей.
- Анализ и оценка результатов, полученных благодаря упрощениям сети.

| Вход<br>в вершины                                                                                                 | Выход<br>из вершин                                                                | Детерминированное<br>«И»                                                            | Вероятностное<br>«ИЛИ»                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                   |                                                                                   |  |  |
| Событие произойдет,<br>если закончатся все<br>предшествующие<br>работы — «И»                                      |  |  |  |
| Событие произойдет,<br>если закончится<br>какая-либо<br>из предшествующих<br>работ — «ИЛИ»                        |  |  |  |
| Событие произойдет, если<br>закончится одна<br>и только одна из<br>взаимоисключающих работ —<br>«исключающее ИЛИ» |  |  |  |

Характеристики вершин, используемых в  
стохастических сетях



Пример иллюстрации сложного мероприятия «Разработка плана создания и изготовления прототипа» с помощью стохастической сети

