

Федеральное агентство по образованию

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

***ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ
В ЭНЕРГЕТИКЕ***

В. М. МАКАРОВ

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ
В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Учебное пособие

2-е издание, стереотипное

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2009

УДК 658.512.6:621(075.8)

Макаров В. М. **Управление проектами в энергетике**: учеб. пособие. / В. М. Макаров – 2-е изд., стереотипное. - СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. - 96 с. (Экономика и менеджмент в энергетике).

Пособие соответствует государственному образовательному стандарту дисциплины IV группы "Менеджмент проектов" подготовки студентов по специальностям 080502 "Экономика и управление на предприятии (энергетика)".

В пособии определены понятия "проект" и "управление проектами". Изложены теоретические основы формирования и управления проектами. Рассмотрены математические основы построения сетевых моделей комплексов работ (проектов), алгоритмы расчета временных характеристик проектов СРМ и PERT, в том числе – с использованием программного пакета WinQSB, метод оптимизации затрат на проект. В изложении практического материала упор сделан на решение задач. Темы содержит контрольные задания.

Предназначено для студентов специальности 080502 "Экономика и управление на предприятии (энергетика)" всех форм обучения, а также для студентов других специальностей, изучающих дисциплину "Менеджмент проектов".

Табл. 28. Ил. 43. Библиогр.: 4 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

© Макаров В.М., 2009

© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2009

Тема 1. ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

1.1. Что такое проект и управление проектами

Понятие "проект" объединяет разнообразные виды деятельности, характеризующиеся рядом общих признаков, наиболее общими из которых являются следующие:

- направленность на достижение конкретных целей, результатов;
- координированное выполнение многочисленных взаимосвязанных действий;
- ограниченная протяженность во времени, с определенным началом и завершением.

Отличие проекта от производственной системы заключается в том, что проект является однократной, нециклической деятельностью. Серийный же выпуск продукции не имеет заранее определенного конца во времени и зависит лишь от наличия и величины спроса. Когда исчезает спрос, производственный цикл кончается. Производственные циклы в чистом виде не являются проектами. Однако в последнее время проектный подход все чаще применяется и к процессам, ориентированным на непрерывное производство. Например, проекты увеличения производства до указанного уровня в течение определенного периода, исходя из заданного бюджета, или выполнение определенных заказов, имеющих договорные сроки поставки.

Проект как система деятельности существует ровно столько времени, сколько его требуется для получения конечного результата. Концепция проекта, однако, не противоречит концепции фирмы или предприятия и вполне совместима с ней. Более того, проект часто становится основной формой деятельности фирмы.

Существует ряд определений термина "проект", каждое из которых имеет право на существование, в зависимости от конкретной задачи, стоящей перед специалистом. Вот некоторые из них:

В самом общем виде *проект* (англ. – *project*) – это "что-либо, что задумывается или планируется, например, большое предприятие" (толковый словарь *Webster*).

С точки зрения системного подхода проект может рассматриваться как процесс перехода из исходного состояния в конечное – результат при участии ряда ограничений и механизмов.

В "Кодексе знаний об управлении проектами" *проект* – некоторая задача с определенными исходными данными и требуемыми результатами (целями), обуславливающими способ ее решения. Проект включает в себя замысел (про-

блему), средства его реализации (решения проблемы) и получаемые в процессе реализации результаты.

Инвестиционный проект понимается как инвестиционная акция, предусматривающая вложение определенного количества ресурсов, в том числе интеллектуальных, финансовых, материальных, человеческих, для получения запланированного результата и достижения определенных целей в обусловленные сроки. Финансовым результатом инвестиционного проекта чаще всего является прибыль/доход, материально-вещественным результатом – новые или реконструированные основные фонды (объекты) или приобретение и использование финансовых инструментов или нематериальных активов с последующим получением дохода.

В том случае, когда в качестве результатов реализации проекта выступают некоторые физические объекты (здания, сооружения, производственные комплексы), определение проекта может быть конкретизировано следующим образом: "*Проект* – целенаправленное, заранее проработанное и запланированное создание или модернизация физических объектов, технологических процессов, технической и организационной документации для них, материальных, финансовых, трудовых и иных ресурсов, а также управленческих решений и мероприятий по их выполнению".

Итак, в современном понимании проекты – это то, что изменяет наш мир: строительство жилого дома, электростанции или промышленного объекта, программа научно-исследовательских работ, реконструкция предприятия, создание новой организации, разработка новой техники и технологии, сооружение корабля, создание кинофильма, развитие региона, – это все проекты.

Сравните это толкование с принятым до недавнего времени у нас: проект – это документально оформленный план сооружения или конструкции. Нужно знать, что для обозначения этого понятия на Западе используют термин "design".

В ряде отраслей, таких, как авиационно-космическая или оборонная промышленность, создаваемые объекты являются настолько сложными, что работа над ними осуществляется не в составе проектов, а в составе *Программ*, которые можно определить как совокупность проектов или проект, отличающийся особой сложностью создаваемой продукции и/или методов управления его осуществлением. При таком подходе термин "проект", как правило, связывается с относительно краткосрочными целями.

В настоящее время в Российской Федерации разработан и реализуется ряд программ развития: топлива и энергетики, продовольствия, транспорта и связи, жилья, образования, здравоохранения и др.

В число приоритетных федеральных программ вошли программы энергоснабжения, электрификации и газификации сельских районов, повышения безопасности атомной энергетики, использования нетрадиционных источников

энергии, освоения газовых месторождений полуострова Ямал, развития Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса.

Концептуально важным является понятие *системы*, которое может быть определено следующим образом: "Система – это группа элементов (включая людей), организованных таким образом, что они в состоянии действовать как единое целое для достижения поставленных перед ними целей". В качестве примеров таких систем можно привести «Компанию "Аэрофлот"», "Систему спутникового телевидения" и т.д. Соответственно программы являются подсистемами первого уровня (нетрудно привести примеры программ Аэрофлота и др.), а проекты представляют собой часть программ.

1.2. История разработки методов управления проектами

Прообразом систем управления проектами являются графики Ганта, особенно широко применявшиеся для календарного планирования комплексов работ в 20 – 40-е годы нашего века, а кое-где используемые и сегодня. Однако их низкая гибкость и несовершенство потребовали создания новых инструментальных средств. В начале 50-х годов произошел качественный скачок в развитии теории и практики менеджмента проектов и на смену графикам Ганта пришел сетевой анализ. Первым методом здесь был СРМ (*Critical Path Method*), или метод критического пути.

В 1958 году управление специальных проектов ВМФ США, отвечающее за системное руководство программой разработки и изготовления ядерной ракетной системы подводного базирования "Поларис", и консалтинговая фирма, занимающаяся вопросами менеджмента, ввели новый метод сетевого анализа PERT (*Program Evaluation and Review Technique*), или метод оценки и пересмотра программ.

Метод PERT использует статистические данные для количественной оценки неопределенности, которая может встретиться при выполнении физических, а особенно – умственных работ. Он особенно хорош там, где до сих пор не было основы для установления норм времени, необходимого для выполнения каждой из таких работ. Этот метод позволяет руководству сосредоточить свое внимание на тех частях программы, для которых компромисс между временем и наличными ресурсами мог бы повысить вероятность выполнения проекта в заданный срок.

В настоящее время разработано много разновидностей методов сетевого анализа, но по существу они очень похожи и различаются лишь в деталях.

1.3. Сущность управления проектами

Управление проектами – синтетическая дисциплина, объединяющая как специальные, так и надпрофессиональные знания. Специальные знания отражают особенности той области деятельности, к которой относятся проекты

(строительные, инновационные, образовательные, экологические, исследовательские, реорганизационные и др.).

Однако подлинно самостоятельной дисциплиной управление проектами стало благодаря знаниям, полученным в результате изучения общих закономерностей, присущих проектам во всех областях деятельности, а также методам и средствам, успешно используемым для самых различных проектов.

Методы управления проектами позволяют:

- определить цели проекта и провести его обоснование;
- выявить структуру проекта (подцели, основные этапы работы, которые предстоит выполнить);
- определить необходимые объемы и источники финансирования;
- подобрать исполнителей, в частности, через процедуры торгов и конкурсов;
- подготовить и заключить контракты;
- определить сроки выполнения проекта, составить график его реализации;
- рассчитать необходимые ресурсы;
- рассчитать смету и бюджет проекта;
- планировать и учитывать риски;
- обеспечить контроль за ходом выполнения проекта и многое другое.

Управление проектами — методология (говорят также – искусство) организации, планирования, руководства, координации трудовых, финансовых и материально-технических ресурсов на протяжении проектного цикла, направленная на эффективное достижение его целей путем применения современных методов, техники и технологии управления для достижения определенных в проекте результатов по составу и объему работ, стоимости, времени, качеству и удовлетворению участников проекта.

Представляет интерес так называемая "процессная" концепция управления проектами, получившая распространение на Западе (рис. 1.1). Суть ее состоит в том, что сложная интегрированная природа управления проектами описывается через *бизнес-процессы*, из которых оно состоит, и их взаимосвязи. В данном случае под процессами понимаются действия и процедуры, связанные с реализацией функций управления.

1.4. Взаимосвязь управления проектами и управления инвестициями

Испытанным средством упорядочения любой перестройки, в том числе столь масштабной, как осуществляемая в нашей стране, является *программно-целевой метод управления*, в соответствии с которым создан ряд межгосударственных, федеральных, региональных, отраслевых и объектных целевых программ. Каждая *программа* представляет собой комплекс взаимоувязанных (по ресурсам, срокам и исполнителям) проектов. Их реализация происходит на базе концепции управления проектами.



Рис. 1.1. Классификация процессов управления проектами

Основу концепции составляет взгляд на проект как на изменение исходного состояния любой *системы* (например, предприятия), связанное с затратой времени и средств. Главным ограничителем, как известно, являются денежные средства или инвестиции. Процесс изменений системы, осуществляемых по заранее разработанным правилам в рамках выделенного бюджета и временных ограничений, и составляет сущность этой синтетической дисциплины.

Такой подход позволяет свести все изменения в экономике, управлении, укладе жизни России (как, впрочем, и любой другой страны) к системе инвестиционных проектов, а управление ими – к *управлению инвестициями или инвестиционному менеджменту*.

В современных условиях совокупность методов и средств управления проектами представляет собой высокоэффективную методологию *управления инвестициями*, позволяющую:

- осуществить анализ инвестиционного рынка и сформировать инвестиционный портфель компании с его оценкой по критериям доходности, риска и ликвидности;
- оценить эффективность инвестиций с учетом факторов риска и неопределенности в рамках обоснования инвестиций и бизнес-плана;

- разработать стратегию формирования инвестиционных ресурсов компании с оценкой общей потребности в инвестиционных ресурсах, целесообразности использования привлеченных и заемных средств;
- произвести отбор и оценку инвестиционной привлекательности конкретных проектов;
- оценить инвестиционные качества отдельных финансовых инструментов и отобрать наиболее эффективные из них;
- осуществить планирование и оперативное управление реализацией конкретных инвестиционных проектов и программ;
- организовать процедуру закупок и поставок, а также управление качеством проекта;
- обеспечить эффективное осуществление инвестиционного процесса, включая управление изменениями и подготовку решений о своевременном закрытии неэффективных проектов (продаже отдельных финансовых инструментов) и реинвестировании капитала;
- организовать завершение проекта;
- в полной мере учесть так называемые психологические аспекты управления инвестициями, нередко оказывающие решающее воздействие на показатели проекта в целом.

1.5. Цель и стратегия проекта

Различают генеральную цель (говорят также – миссию) проекта от целей первого (и, возможно, последующих) уровней, а также подцелей/задач, работ.

Миссия – это генеральная цель проекта, четко выраженная причина его существования. Она детализирует статус проекта, обеспечивает ориентиры для определения целей следующих уровней, а также стратегий на различных организационных уровнях. Говорят также, что миссия – это главная задача проекта с точки зрения его будущих основных услуг или изделий, его важнейших рынков и преимущественных технологий.

Стратегия проекта – центральное звено в выработке направлений действий с целью получения обозначенных миссией и системой целей результатов проекта. Подготовку стратегии проекта можно условно разделить на три последовательные процедуры:

- стратегический анализ;
- разработка и выбор стратегии;
- реализация стратегии.

Стратегический анализ начинается с анализа внешней и внутренней среды. Со стороны внешней среды можно ожидать либо угрозы, либо возможности для реализации проекта (так называемый *SWOT*-анализ).

К факторам *внешней среды* относят:

- технологические (уровень существующих и наличие новых технологий);

- ресурсообеспеченность (наличие, доступ);
- экономические (инфляция, процентные ставки, курсы валют, налоги);
- законодательные ограничения со стороны государства;
- социальные (уровень безработицы, национальные традиции);
- политические (деятельность политических организаций);
- экологические (уровень загрязнения и мероприятия по его снижению);
- конкуренты (количество, сила).

Внутренняя среда включает:

- номенклатура продукции (степень диверсификации);
- целевые рынки (ниша, в которой работает фирма, круг ее потребителей);
- маркетинг (наличие специалистов, бюджет маркетинга);
- объем продаж и каналы распределения (как и через кого продается);
- производство (оборудование, технология, площади);
- персонал (квалификация, численность, мотивация, корпоративная культура);
- исследования и разработки (наличие, уровень и бюджет научных исследований и разработок);
- финансы (структура капитала, оборачиваемость, ликвидность, финансовое состояние);

Разработка и выбор стратегии осуществляются на трех различных *организационных уровнях*:

- 1) корпоративная стратегия (общее направление развития, т.е. стратегия роста, сохранения или сокращения производства);
- 2) деловая стратегия (стратегия конкуренции конкретного товара на конкретном рынке);
- 3) функциональная стратегия (стратегия выполнения различных функций, таких как: развитие персонала, научные исследования и разработки).

Стратегия проекта разрабатывается в рамках деловой стратегии, т.е. она отвечает на вопрос, каким образом результат проекта будет влиять на конкурентный статус предприятия. Очевидно, что выбор стратегии проекта должен осуществляться в рамках уже выбранного общего направления развития предприятия/организации.

Реализация стратегии подразумевает в первую очередь необходимость определенных изменений в организационной структуре и организационной культуре. Поэтому необходимо создать специальные координационные механизмы в дополнение к организационной структуре управления: проектные, межпроектные (программные), венчурные (для проектов с высокими уровнями рисков) группы.

Существенным элементом стратегии является фактор так называемой организационной культуры, включающий:

- видение (философию) организации;

- господствующие ценности;
- нормы и правила поведения;
- ожидания предстоящих изменений;
- процедуры и поведенческие ритуалы.

1.6. Окружение проектов

Проект имеет ряд свойств, о которых целесообразно помнить, так как это помогает методически правильно организовать работу по его реализации:

- проект возникает, существует и развивается в определенном окружении, называемом *внешней средой*;
- состав проекта не остается неизменным в процессе его реализации и развития, в нем могут появляться новые элементы (объекты) и из его состава могут удаляться некоторые его элементы;
- проект, как и всякая система, может быть разделен на элементы, при этом между выделяемыми элементами должны определяться и поддерживаться определенные связи.

Разделение всей сферы деятельности, в которой появляется и развивается проект, на собственно "проект" и "внешнюю среду" в определенной степени условно. Причины этого заключаются в следующем.

1. Проект не является жестким, стабильным образованием: ряд его элементов в процессе реализации проекта может менять свое местоположение, переходя в состав проекта из внешней среды и обратно.

2. Ряд элементов проекта может использоваться как в его составе, так и вне его. Типичным примером могут служить специалисты, одновременно работающие как над реализацией конкретного проекта, так и над решением некоторых других проблем (в частности, над выполнением какого-то другого проекта).

Схематичное изображение проекта и его окружения приведено на рис. 1.2.

Следует обратить внимание на переходную зону, через которую между ними осуществляется связь и перемещение элементов, тем или иным способом участвующих в работе по его реализации.

В практике бизнес-планирования обычно подлежат изучению три аспекта окружения проекта:

- политический, а именно отношение федеральных и местных властей к проекту;
- территориальный, включающий изучение конкурентных предложений на рынке аналогичной продукции;
- экологический, связанный с необходимостью обеспечения экологической безопасности проекта.



Рис. 1.2. Проект строительства электростанции и его окружение

1.7. Управляемые параметры проекта

Управляемыми параметрами проекта являются:

- объемы и виды работ по проекту;
- временные параметры, включающие сроки, продолжительность и резервы выполнения работ, этапов, фаз проекта;
- ресурсы, требуемые для осуществления проекта, в том числе: человеческие или трудовые, финансовые ресурсы, материально-технические, разделяемые на строительные материалы, машины, оборудование, комплектующие изделия и детали, а также ограничения по ресурсам;
- качество проектных решений, применяемых ресурсов, компонентов проекта и пр.

Проект и процесс его реализации, осуществления являются сложной системой, в которой сам проект выступает как управляемая подсистема, а управляющей подсистемой является управление проектом.

1.8. Проектный цикл

Промежуток времени между моментом появления проекта и моментом его ликвидации называется *проектным циклом* ("жизненным циклом") проекта. Жизненный цикл проекта является исходным понятием для исследования проблем финансирования работ по проекту и принятия соответствующих решений.

Каждый проект независимо от его сложности и объема работ, необходимых для его выполнения, проходит в своем развитии определенные состояния: от состояния, когда "проекта еще нет", до состояния, когда "проекта уже нет". Принципиальная структура проектного цикла показана на рис. 1.3.

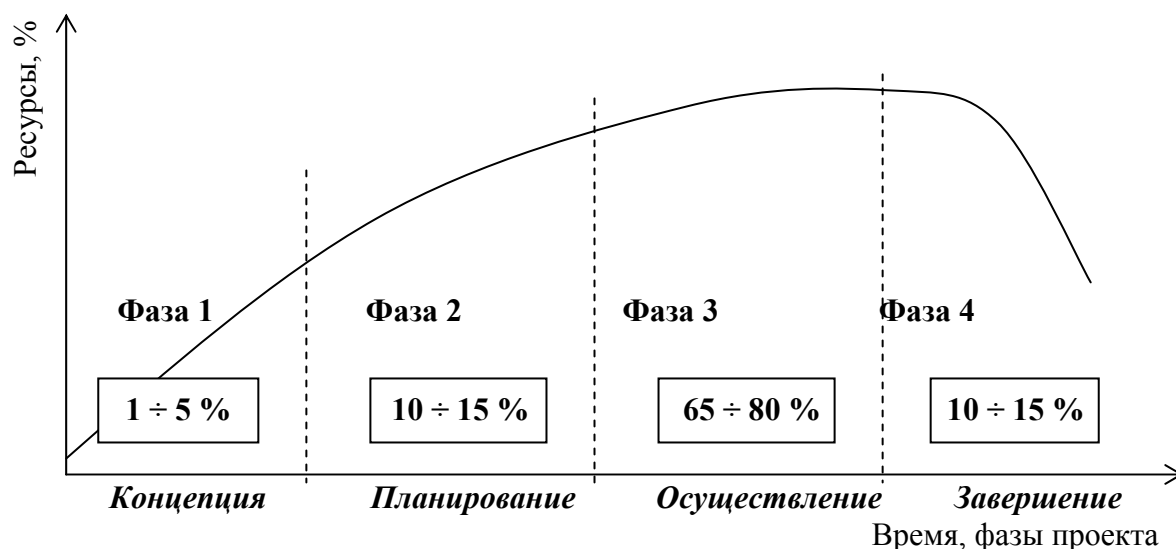


Рис. 1.3. Принципиальный вид структуры жизненного цикла проекта.

Примечание. Динамика потребности в ресурсах обусловлена типом и сложностью проекта.

Для деловых людей начало проекта связано с началом его реализации и началом вложения денежных средств в его выполнение.

Окончанием существования проекта может быть:

- ввод в действие объектов, начало их эксплуатации и использования результатов выполнения проекта;
- перевод персонала, выполнявшего проект, на другую работу;
- достижение проектом заданных результатов;
- прекращение финансирования проекта;
- начало работ по внесению в проект серьезных изменений, не предусмотренных первоначальным замыслом (модернизация);
- вывод объектов проекта из эксплуатации.

Обычно, как факт начала работ над проектом, так и факт его ликвидации оформляются официальными документами.

Состояния, через которые проходит проект, называют *фазами* (этапами, стадиями).

Универсального подхода к разделению процесса реализации проекта на фазы не существует. Решая для себя такую задачу, участники проекта должны руководствоваться своей ролью в проекте, своим опытом и конкретными условиями выполнения проекта. Поэтому на практике деление проекта на фазы может быть самым разнообразным, лишь бы такое деление выявляло некоторые важные контрольные точки – "*вехи*", во время прохождения которых просматривается дополнительная информация и оцениваются возможные направления развития проекта.

Тема 2. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЕКТА

2.1. Основные понятия и определения

Сущность планирования состоит в задании целей и способов их достижения на основе формирования комплекса работ (мероприятий, действий), которые должны быть выполнены, в применении методов и средств реализации этих работ, в увязке ресурсов, необходимых для их выполнения, в согласовании действий организаций-участников проекта.

Деятельность по разработке планов охватывает все этапы создания и исполнения проекта. Она начинается с участия руководителя проекта (проект-менеджера) в процессе разработки концепции проекта, продолжается при выборе стратегических решений по проекту, а также при разработке его деталей, включая составление контрактных предложений, заключение контрактов, выполнение работ, и заканчивается при завершении проекта.

На этапе планирования определяются все необходимые параметры реализации проекта: продолжительность по каждому из контролируемых элементов проекта, потребность в трудовых, материально-технических и финансовых ресурсах, сроки поставки сырья, материалов, комплектующих и технологического оборудования, сроки и объемы привлечения проектных, строительных и других организаций.

Процессы и процедуры планирования проекта должны обеспечивать реализуемость проекта в заданные сроки с минимальной стоимостью, в рамках нормативных затрат ресурсов и с надлежащим качеством.

В хорошо организованном проекте за выполнение каждой цели должен нести ответственность конкретный орган управления: руководитель проекта за все цели (миссию проекта), ответственные исполнители за частные цели и т.д. То есть "дерево целей" проекта должно совпадать со структурой подразделения организации, отвечающей за реализацию проекта. Для этого разрабатывается так называемая *матрица ответственности*, которая определяет функциональные обязанности исполнителей по проекту, конкретизирует набор работ, за реализацию которых они отвечают персонально.

Чем выше уровень органа управления, тем в более обобщенных, *агрегированных* показателях в нем принимаются решения по управлению подчиненными подразделениями. С повышением уровня иерархии увеличивается временной интервал между выдачей плановых заданий, контролем их исполнения и т.д. При этом в промежутках между моментами вмешательства (выдачи плановых заданий, определением контрольных показателей и т.д.) подразделения нижнего уровня работают самостоятельно, независимо от подразделений того же или соседнего уровня. Самостоятельное функционирование подразде-

лений должно быть обеспечено определенными запасами ресурсов, которые тоже необходимо планировать.

Основная *цель планирования* состоит в построении модели реализации проекта. Она необходима для координации деятельности участников проекта, с ее помощью определяется порядок, в котором должны выполняться работы.

Планирование представляет собой совокупность связанных между собой взаимными отношениями процедур. Первым этапом планирования проекта является разработка первоначальных планов, являющихся основой для разработки бюджета проекта, определения потребностей в ресурсах, организации обеспечения проекта, заключения контрактов и пр. Планирование проекта предшествует контролю по проекту и является основой для его применения, так как проводится сравнение между плановыми и фактическими показателями.

2.2. Процессы планирования

Планирование относится к наиболее важным процессам для проекта, так как результатом его реализации является обычно уникальный объект, товар или услуга. Объем и детальность планирования определяются полезностью информации, которую можно получить в результате выполнения процесса, и зависят от содержания (замысла) проекта.

Эти процессы могут повторяться и входить в состав итерационной процедуры, выполняемой до достижения определенного результата. Например, если первоначальная дата завершения проекта неприемлема, то требуемые ресурсы, стоимость, а иногда и содержание проекта должны быть изменены. Результатом в этом случае будут согласованные сроки, объемы, номенклатура ресурсов, бюджет и содержание проекта, соответствующие его целям. Сам процесс планирования не может быть полностью алгоритмизирован и автоматизирован, так как содержит много неопределенных параметров и часто зависит от случайных факторов. Поэтому предлагаемые в результате планирования варианты могут отличаться, если они разрабатываются разными командами, специалисты в которых по-разному оценивают влияние на проект внешних факторов. Процессы планирования включают следующие.

Основные процессы планирования могут повторяться несколько раз, как в течение всего проекта, так и его отдельных фаз. К ним относят:

- планирование содержания проекта и его документирование;
- описание содержания проекта, определение основных этапов реализации проекта, декомпозиция их на более мелкие и управляемые элементы;
- составление сметы, оценку стоимости ресурсов, необходимых для выполнения работ проекта;
- определение работ, формирование списка конкретных работ, которые обеспечивают достижение целей проекта;
- расстановку (последовательность) работ, определение и документирование технологических зависимостей и ограничений на работы;

- оценку продолжительности работ, трудозатрат и других ресурсов, необходимых для выполнения отдельных работ;
- планирование ресурсов, определение того, какие ресурсы (люди, оборудование, материалы) и в каких количествах потребуются для выполнения работ проекта;
- корректировку сроков выполнения работ с учетом ограниченности ресурсов;
- расчет расписания, временных характеристик проекта;
- составление бюджета, привязка сметных затрат к конкретным видам деятельности;
- создание (разработку) плана проекта, сбор результатов остальных процессов планирования и их объединение в общий документ.

Вспомогательные процессы выполняются по мере необходимости. К ним относят:

- планирование качества, определение стандартов качества, соответствующих данному проекту, и поиск путей их достижения;
- организационное планирование (проектирование), определение, обследование, документирование и распределение проектных ролей, ответственности и отношений подчиненности;
- подбор кадров, формирование команды проекта на всех стадиях жизненного цикла проекта, набор необходимых людских ресурсов, включенных в проект и работающих в нем;
- планирование коммуникаций, определение информационных и коммуникационных потребностей участников проекта: кому и какая информация необходима, когда и как она им должна быть доставлена;
- идентификацию и оценку рисков, определение того, какой фактор неопределенности и в какой степени может повлиять на ход реализации проекта, определение благоприятного и неблагоприятного сценария реализации проекта, документирование рисков;
- планирование поставок, определение того, что, каким образом, когда и с помощью кого закупать и поставлять;
- планирование предложений, документирование товарных требований и определение потенциальных поставщиков.

2.3. Уровни планирования

Определение уровней планирования является также предметом планирования и проводится для каждого конкретного проекта с учетом его специфики, масштабов, географии, сроков и т.д. В ходе этого процесса определяются вид и число уровней планирования, соответствующих выделенным пакетам работ по проекту, их содержательные и временные взаимосвязи.

Планы (графики) как выражение результатов процессов планирования должны образовывать в совокупности некоторую пирамидальную структуру, обладающую свойствами агрегирования информации, дифференцированной по уровням управления информированностью, эшелонироваться по срокам разработки (краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные). Уровни планирования и система планов должны строиться с использованием принципов "обратной связи", обеспечивающих постоянное сравнение плановых данных с фактическими, и обладать большой гибкостью, актуальностью и эффективностью.

Агрегирование календарно-сетевых планов (графиков) является важным и весьма эффективным инструментом, позволяющим управлять сложными проектами. С помощью этого инструмента участники проекта могут получать сетевые планы различной степени агрегирования в объеме и по содержанию соответствующие их правам и обязанностям по проекту.

Сетевые планы укрупняют из-за того, что общий сетевой план состоит из множества частных сетевых планов. В каждом из таких частных планов определяют самый длинный путь. Эти пути затем ставят на место отдельных частей сети. При помощи такого постепенного агрегирования получают многоуровневые сетевые планы.

Обычно выделяют следующие виды планов:

- концептуальный план;
- стратегический план реализации проекта;
- тактические (детальные, оперативные) планы.

Концептуальное планирование, результатом которого является концептуальный план, представляет собой процесс разработки основной документации по проекту, технических требований, оценок, укрупненных календарных планов, процедур контроля и управления. Концептуальное планирование проводится в начальный период жизненного цикла проекта.

Стратегическое планирование представляет собой процесс разработки стратегических, укрупненных, долгосрочных планов.

Детальное (оперативное, тактическое) планирование связано с разработкой тактических, детальных планов (графиков) для оперативного управления на уровне ответственных исполнителей.

Уровни (агрегирования) плана должны соответствовать уровням управления. Чем выше уровень, тем более агрегированная, обобщенная информация используется для управления. Для каждого из уровней есть свое представление входных данных, которыми обычно являются:

- договорные требования и обязательства;
- описание доступных ресурсов и ограничения на их использование (сроки, интенсивность, размещение и т.д.);
- оценочные и стоимостные модели;
- документация по аналогичным разработкам.

Как правило, частные (специфические) цели проекта по мере его реализации могут меняться, в то время как стратегические цели проекта, его миссия остаются неизменными. Поэтому этапу стратегического планирования придается особое значение. Здесь должна быть получена предельная ясность по основным этапам реализации проекта, по целям, которые должны быть достигнуты.

2.4. Структура разбиения работ (СРР)

Структура разбиения (декомпозиции) работ – иерархическая структура последовательной декомпозиции проекта на подпроекты, пакеты работ различного уровня, пакеты детальных работ. СРР является базовым средством для создания системы управления проектом, так как позволяет решать проблемы организации работ, распределения ответственности, оценки стоимости, создания системы отчетности, эффективно поддерживать процедуры сбора информации о выполнении работ и отображать результаты в информационной управленческой системе для обобщения графиков работ, стоимости, ресурсов и дат завершения.

СРР позволяет согласовать план проекта с потребностями заказчика, представленными в виде спецификаций или описаний работ. С другой стороны, СРР является удобным средством управления для проект-менеджера, так как позволяет:

- определить работы, пакеты работ, обеспечивающие достижение подцелей (частных целей) проекта;
- проверить, все ли цели будут достигнуты в результате реализации проекта;
- создать удобную, соответствующую целям проекта структуру отчетности;
- определить на соответствующем уровне детализации плана вехи (ключевые результаты), которые должны стать контрольными точками по проекту;
- распределить ответственность за достижение целей проекта между его исполнителями и тем самым гарантировать, что все работы по проекту имеют ответственных и не выпадут из поля зрения;
- обеспечить членам команды понимание общих целей и задач по проекту.

Пакеты (группы) работ обычно соответствуют самому нижнему уровню детализации СРР и состоят из детальных работ. Последние при необходимости могут подразделяться на шаги. Ни детальные работы, ни тем более шаги не могут быть элементами СРР.

Разработка СРР проводится обычно сверху вниз, однако может выполняться и снизу вверх, либо используются одновременно оба подхода. Применяемый для этой цели итерационный процесс может включать различные подходы к выявлению информации. Например, используется методика "мозгового штурма", осуществляемого как в рамках команды проекта, так и с привлечением представителей других участников проекта. В результате построения СРР

должны быть учтены все цели проекта и созданы все необходимые предпосылки для его успешной реализации.

Уровень детализации СРР зависит от содержания проекта, квалификации и опыта команды проекта, применяемой системы управления, принципов распределения ответственности в команде проекта, существующей системы документооборота и отчетности и т.д. В процессе создания СРР могут использоваться детальные технические спецификации или только функциональные спецификации с требованиями к работам в самом общем виде.

Иерархическая структура проекта, создаваемая на основе СРР, позволяет применять процедуры сбора и обработки информации о ходе выполнения работ по проекту в соответствии с уровнями управления, пакетами работ, вехами и т.д., обобщать информацию по графикам работ, затратам, ресурсам и срокам.

Система управления проектом должна включать возможность представления информации по плановым и фактическим данным проекта в соответствии со структурой СРР.

Основанием декомпозиции СРР могут служить:

- компоненты товара (объекта, услуги, направления деятельности), получаемого в результате реализации проекта;
- процессные или функциональные элементы деятельности организации, реализующей проект;
- этапы жизненного цикла проекта, основные фазы;
- подразделения организационной структуры;
- географическое размещение для пространственно распределенных проектов.

На практике чаще используются комбинированные структуры СРР, построенные с использованием нескольких оснований декомпозиции.

Искусство декомпозиции проекта состоит в умелом согласовании основных структур проекта, к которым относят прежде всего организационную структуру, структуру статей затрат, структуру ресурсов, функциональную структуру, информационную структуру, структуру временных интервалов (порядок и состав фаз, этапов, ключевых событий проекта) и их возможные составные структуры. СРР служит основой для подобного согласования.

В состав работ СРР входят все работы проекта (детальные работы и шаги учитываются в рамках пакетов работ). *Анализ на полноту* СРР является одним из самых важных этапов построения этой системообразующей структуры проекта.

СРР должна быть понятна и позволять собирать проект в целом из отдельных работ, обеспечивать управляемость при его реализации и распределение ответственности по каждой работе. Обеспечение управляемости предполагает установление регламента (внутрифирменного стандарта), предписывающе-

го участникам проекта порядок их действий и практическое обеспечение выполнения этого регламента..

Правила, основные этапы построения и возможности использования СРР следующие:

1. На основе информации о плане мероприятий проводится последовательная *декомпозиция* (разбиение, деление на категории, классификация) по заданным основаниям (признакам, критериям) работ проекта. Этот процесс продолжается до тех пор, пока все значимые (важные, ключевые) работы, пакеты работ или любые части проекта не будут выделены и идентифицированы в такой степени и таким образом, чтобы они могли планироваться, для них можно было определять бюджет и составлять расписание, выполнять функции мониторинга и контроля.

2. Для наглядности и простоты автоматизации использования СРР каждому элементу декомпозиции присваивается уникальный *идентификатор*, соответствующий уровню и, например, порядковому номеру на уровне с использованием разделителей типа табуляции, знаков препинания и т.д. Названия элементов на каждом уровне отражают критерии разбиения работ. Например, на нижних уровнях — действия, связанные с производством конечного продукта этого уровня. При использовании функционального критерия разбиения работ элементы ветви, связанной с разработкой, могут иметь в названии метку "разработка", а элементы ветви, связанной с производством, – метку "производство". На уровнях, отображающих деятельность, связанную с конечными продуктами, название отражает вид действия. Пример смешанного подхода продемонстрирован на рис. 2.1.

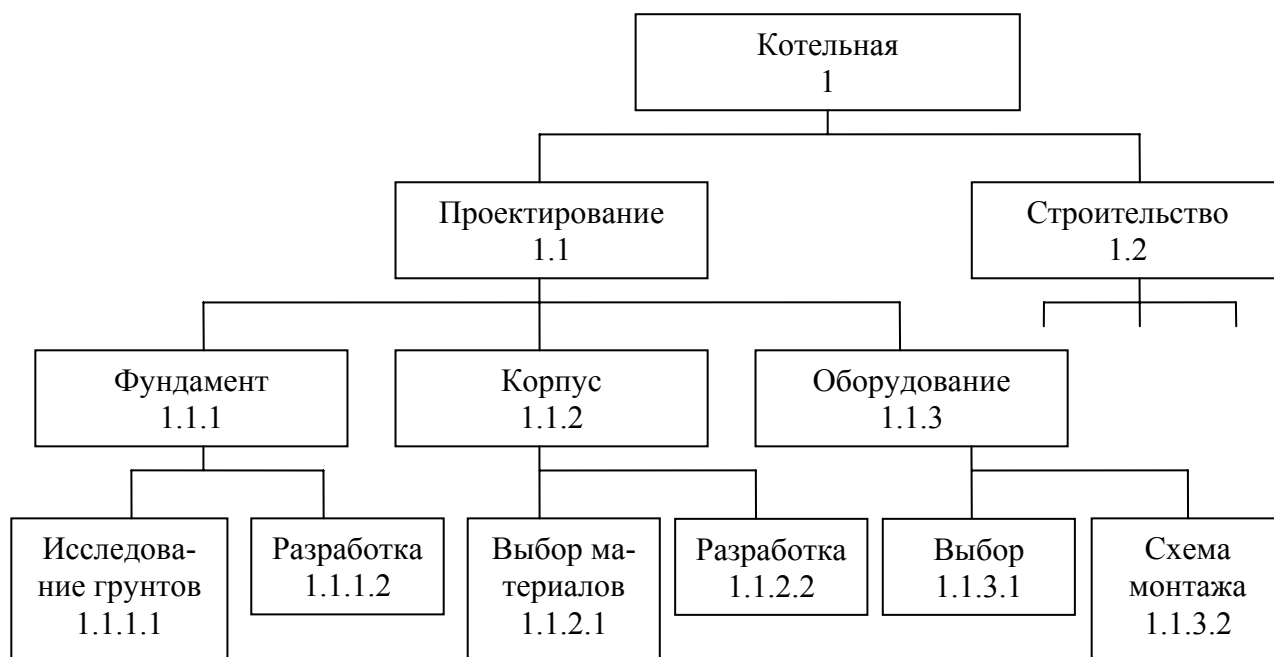


Рис. 2.1. СРР для смешанного подхода

3. Для каждой работы, группы работ, части проекта, выделенных таким образом, определяются имеющие к ним отношение данные (поставщики, ответственные исполнители, продолжительность, объемы, бюджет и затраты, оборудование, материалы, спецификации и т.д.). Каждый следующий уровень в СРР добавляет более детальные элементы, каждый из элементов связан с более общим элементом, расположенным на уровень выше. На любом из уровней группе "дочерних" (детальных) элементов соответствует только один "родительский" (суммарный) элемент. Это правило обеспечивает корректность суммирования стоимостей, вывода объединенных календарных графиков и обобщения информации о работах при переходе с одного уровня на другой.

4. Наиболее важной информацией являются данные по персональной ответственности за выполняемые работы – *матрица ответственности*, в которой определяется, кто отвечает и за что. Она служит основой для решения проблем координации работ по проекту, выявления узких мест, где нет баланса между правами и обязанностями исполнителей.

5. По каждой из выделенных работе, пакету работ, части проекта проводится критический анализ с их исполнителями (участниками проекта, менеджерами и т.д.) для подтверждения правильности СРР.

Этапы, описанные в п. 1÷5, представляют собой элементы процедуры *анализа*, как важнейшего инструмента системного подхода в планировании проектов.

После подтверждения правильности декомпозиции можно использовать агрегирование ресурсных требований, графиков, взаимосвязей частей проекта от уровня к уровню, снизу вверх. Самый верхний уровень СРР предоставляет суммарную информацию о проекте в целом, о его бюджете, графике и т.д. Агрегирование – это второй, симметричный по отношению к анализу инструмент системного подхода, называемый *синтезом*.

Для стоимостной оценки предложений поставщиков или определения соотношения доходов и затрат по проекту его общий бюджет должен включать:

- прямые затраты по каждой из работ в виде временной зависимости;
- накладные расходы по проекту, состоящие из общих и административных затрат, затрат на маркетинг и рекламу, возможных штрафных санкций и других затрат, общих для проекта;
- резерв на случай непредвиденных обстоятельств;
- баланс, включающий доход от проекта, который временами, к сожалению, может быть и отрицательным.

Возможные *ошибки* структуризации проекта:

- пропуск стадии структуризации проекта и переход непосредственно к поиску и решению текущих, оперативных проблем проекта;
- использование при структуризации только функций, фаз или организационных подразделений вместо конечных продуктов или используемых ресурсов;

- непонимание того, что СРР должна охватывать весь проект (обычно недостаточное внимание начальной и конечной фаз проекта, работ функциональных, обеспечивающих подразделений);
- повторение элементов структуры;
- отсутствие интеграции структуры проекта с системой ведения бухгалтерских счетов в компании и с системой подготовки проектно-сметной документации;
- излишняя или недостаточная детализация;
- невозможность компьютерной обработки результатов структуризации из-за ошибок формального характера (например, неверной кодировки).

2.5. Назначение ответственных

Структура разбиения работ (СРР) служит основой для понимания членами команды состава и зависимостей работ по проекту. Однако весь проект и любая его часть могут быть выполнены только в процессе согласованной, скоординированной деятельности участников проекта.

Структурная схема организации (ССО) и матрица ответственности являются двумя другими инструментами, призванными помогать проект-менеджеру в создании команды, отвечающей целям и задачам проекта.

ССО является описанием организационной структуры, необходимой для выполнения работ, определенных в СРР. Целью ССО является определение состава и распределение обязанностей исполнителей работ, входящих в СРР. Использование этих структур в процессе построения матрицы ответственности представлено на рис. 2.2. Состав и порядок реализации работ во многом определяют форму организационной структуры, создаваемой для достижения целей проекта.

Хотя связь между пакетами работ в СРР и элементами организационной структуры на практике никогда не бывает такой же ясной, как на блок-схеме, важно, чтобы права и обязанности участников проекта были четко определены.

Матрица ответственности обеспечивает описание и согласование структуры ответственности за выполнение пакетов работ. Она представляет собой форму описания распределения ответственности за реализацию работ по проекту с указанием роли каждого из подразделений в их выполнении. Матрица содержит список пакетов работ СРР по одной оси, список подразделений и исполнителей, принимающих участие в выполнении работ, – по другой. Элементами матрицы являются коды видов деятельности (из заранее определенного списка) и/или стоимость работ.

Количество видов ответственности может быть различным в зависимости от специфики проекта и его организации, но в любом случае рекомендуется ограничиться небольшим набором легких для описания и понимания видов участия в выполнении работ. Например, наиболее важную роль в выполнении любой детальной работы играет непосредственно ответственный за ее выполне-

ние, но в матрице должны быть отображены и те люди или организации, которые обеспечивают поддержку работ непосредственного исполнителя, а также те, кто будет осуществлять оценку и приемку работ.

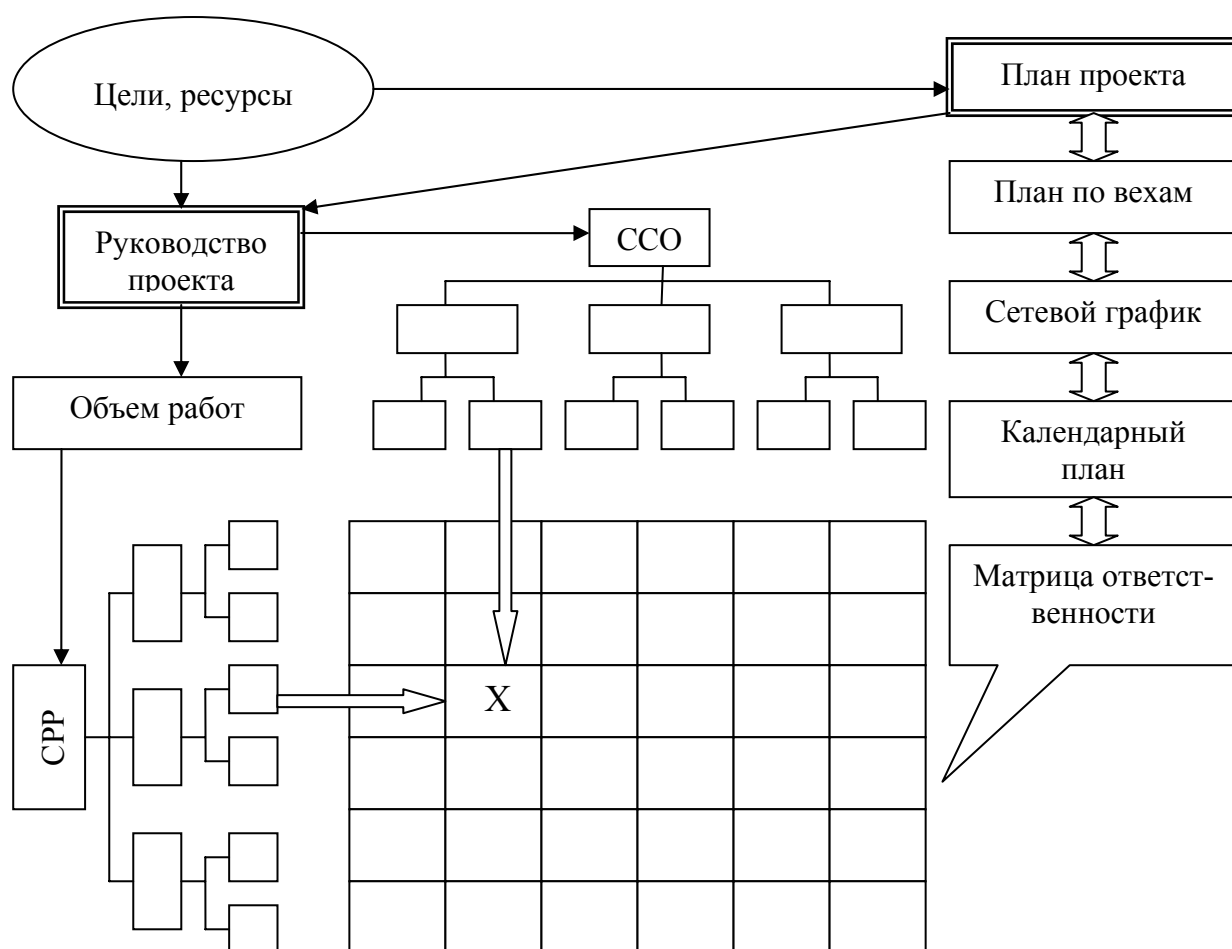


Рис. 2.2. Схема формирования матрицы ответственности

В табл. 2.1 показан пример составления матрицы ответственности. Роли в примере указывают вид участия подразделения в работе: О – ответственный исполнитель, И – исполнитель, П – приемка работ, К – консультации.

Таблица 2.1

Задачи	Матрица ответственности			
	Исполнители			
	менеджер проекта	администратор проекта	планово-финансовый отдел	отдел сбыта
Согласование целей	О			К
План по вехам	О	И		К
Бюджет проекта	О	И	К	
План проекта	П	О		
Утверждение плана	О		К	К

Матрица может также отображать виды ответственности конкретных руководителей за те или иные работы. Кроме того, в матрице могут быть отображены роли людей, не задействованных непосредственно в проекте, но которые могут оказывать поддержку в работе команды.

Тщательно подготовленная и продуманная матрица является тем инструментом, который обеспечивает успешную поддержку проекта как в рамках команды проекта, так и внешними организациями.

Назначение ответственных происходит на этапе планирования, так как необходимо иметь точное представление не только о затратах, но и об имеющихся доступных ресурсах до того, когда план начнет выполняться. После того, как все ресурсы будут определены, необходимо выяснить, каким образом их можно получить, в особенности это касается трудовых ресурсов с требуемой квалификацией. Исполнители конкретных работ по проекту должны быть доставлены в нужное место и в определенное время и иметь при этом все необходимое для их выполнения.

Назначение проводится поэтапно от рабочей группы к команде проекта. Рабочая (инициативная) группа служит ядром будущей команды проекта, которая и доведет его до успешного окончания. Состав рабочей группы определяется целями и задачами проекта и, как правило, включает менеджеров (управляющих) и участников проекта, имеющих существенное влияние или интерес в нем. Рабочая группа участвует в инициации и планировании проекта. На этой фазе невозможно определиться с ресурсами, так как есть только наиболее общая информация, а вся необходимая в дальнейшем информация может быть получена только из детальных работ и СРР. Окончательное назначение исполнителей и распределение их прав и обязанностей происходят лишь тогда, когда проект принят к реализации, а его план разработан и утвержден.

Для назначения ответственных надо знать семь типов ресурсов, которые они могут использовать: трудовые ресурсы, деньги, оборудование, техническая оснастка, материалы и поставщики, информация и технологии. Хотя на практике далеко не всегда у исполнителей есть все необходимые рычаги для управления, а также для использования выделенных им ресурсов. Тем не менее, знание этих ресурсов позволяет описать весь проект и решить вопрос о назначении ответственных, так как каждая из выполняемых работ должна быть "укомплектована" всем необходимым. Для этого надо получить ответ на два вопроса:

1. Какие трудовые ресурсы, материалы, оборудование и другие ресурсы необходимы для выполнения каждой работы проекта? Используя СРР, график выполнения работ, можно получить список требований по всем необходимым ресурсам.
2. Что из этого списка уже имеется? Только после удовлетворения этих потребностей можно окончательно решить вопрос о назначении ответственных и требовать от них надлежащего исполнения своих функций и заданий в полном объеме.

Структура статей затрат является дополнительным средством планирования работ проекта. Основное отличие статей затрат от бухгалтерских счетов заключается в том, что по статьям классифицируется и собирается информация, вообще говоря, не подтвержденная документально к моменту сбора управленческая информация (нет документов, подтверждающих факт затрат, но есть предварительная информация о выполненных работах, использованных ресурсах и т.д.); эта информация нужна и может использоваться только для принятия управленческих решений. Необходимые документы появятся только к определенным требованиям бухгалтерского учета календарным датам, а не к текущим датам проекта.

Статьи затрат представляют собой инструмент управления, применяемый для сбора информации о фактических затратах выполненных работ и сравнения с их плановыми затратами. Кроме того, статьи затрат используются при планировании и контроле времени и стоимости, так как содержат и аккумулируют информацию о работах, назначенных организационным подразделениям в соответствии с СРР.

В статьях затрат может аккумулироваться информация по различным пакетам работ, сформированным по различным основаниям (отобранным по фильтрам):

- по содержанию;
- по срокам выполнения;
- по структуре счетов, субсчетов;
- по ответственным исполнителям.

Таким образом, статьи затрат помогают формировать и отслеживать бюджет проекта, осуществлять текущий управленческий учет и оценивать возможные затраты по завершении работ проекта.

При планировании крупных проектов число отдельных статей затрат может достигать нескольких тысяч. Это может привести к определенным трудностям и с их описанием на стадии планирования, и с учетом фактической информации по ним на стадии выполнения проекта. В качестве одного из решений этой проблемы используется подход по *формированию многофункциональных проектных команд*. Его суть заключается в том, что статья затрат назначается не отдельно взятому организационному подразделению, а так называемой многофункциональной команде. Такая статья охватывает большое количество работ и ставится в соответствии более высокому уровню СРР. Общее количество статей затрат при этом сокращается.

2.6. Определение основных вех

Определение основных вех следует непосредственно после построения СРР и ССО. Вехи удобно использовать для согласования основных стадий, этапов, фаз и т.д. разработки и реализации проекта, а также для анализа и контроля хода реализации проекта на соответствующих этим вехам уровнях управления.

Так как для определения вех необходима минимальная, доступная в начале проекта информация, их можно использовать на самых ранних стадиях процесса планирования. На рис. 2.3 планирование вех составляет начальную, наиболее обобщенную часть плана, который потом разворачивается в укрупненный и, наконец, детальный график.

При определении вех используется информация о ключевых точках, стадиях и состояниях, через которые проходит проект в течение своего жизненного цикла. Вехи отмечают существенные, определяющие дальнейший ход развития проекта точки перехода. Поэтому вехи позволяют решать проблемы контроля, предоставляя набор естественных контрольных точек.

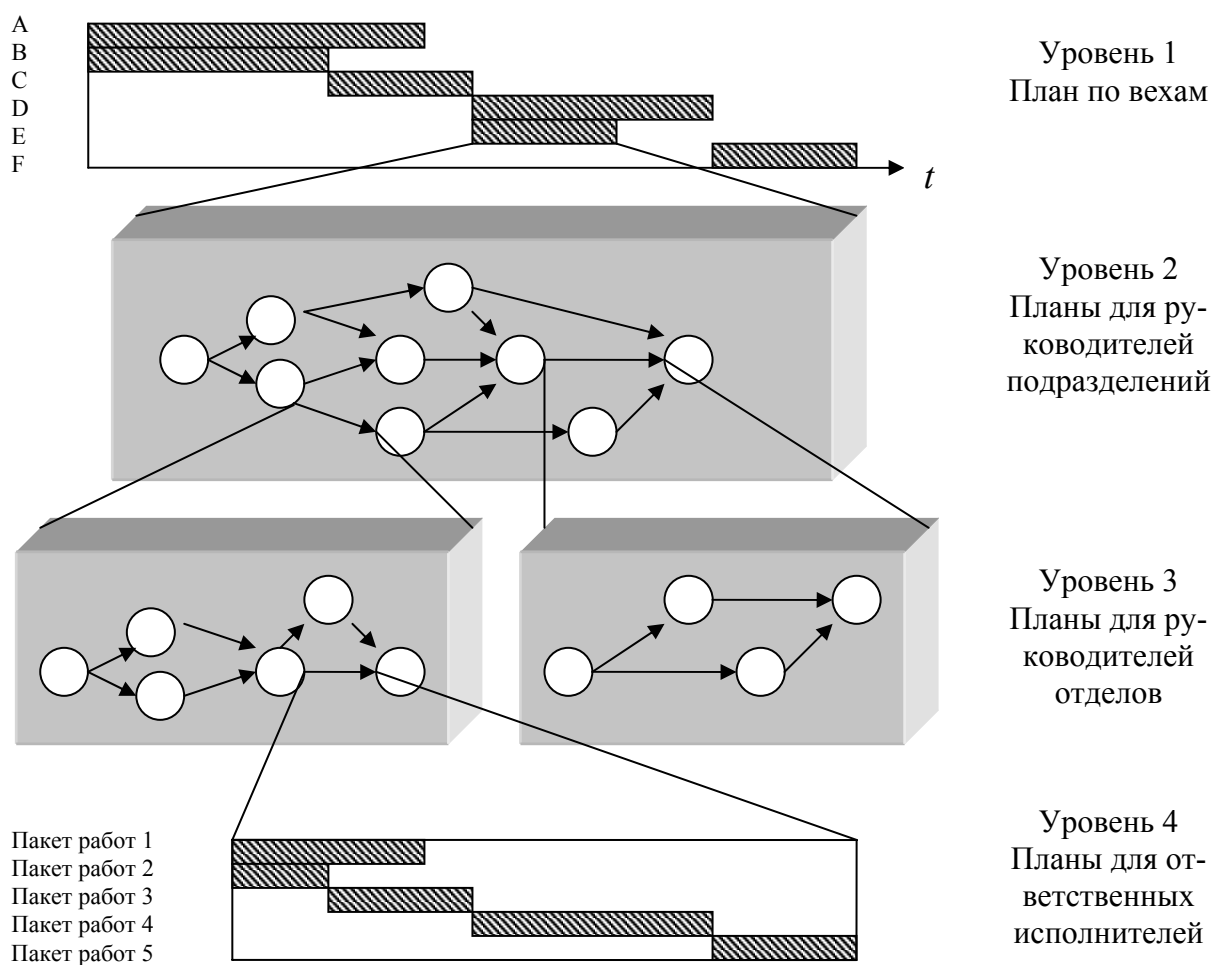


Рис. 2.3. Уровни планирования. От вех к пакетам работ

2.7. Типичные ошибки планирования и их последствия

Планирование с использованием ошибочных целей. Любой проект по своему содержанию предназначен для решения проблемы, удовлетворения конкретной потребности и т.д. В зависимости от этого формулируются те или иные конкретные цели. Если проблема непонятна и недостаточно четко сформулирована, то можно столкнуться с существенными ошибками.

Планирование осуществляется с привлечением только плановиков. Хотя по многим причинам это оправданно, подобная организация планирования может привести к существенным потерям из-за отсутствия учета важных факторов. Поэтому должны также привлекаться для планирования ответственные исполнители по конкретным работам проекта, ответственные за проектное финансирование, за поставки и т.д.

Планирование без учета предыдущего опыта. Даже при наличии самой лучшей сметы без использования предыдущего опыта реализации аналогичных проектов можно допустить серьезные ошибки в планировании.

Планирование ресурсов без учета их доступности. Это касается прежде всего трудовых ресурсов, обладающих определенной квалификацией и возможностью прибыть к заданному сроку в заданное место для выполнения работ по проекту.

Планирование без учета координации. Любой достаточно большой проект разбивается на относительно независимые части, за реализацию которых отвечают самостоятельные подразделения. При отсутствии координирующих воздействий со стороны руководителя проекта они могут действовать, преследуя исключительно свои частные, локальные цели, что приводит к хаосу и срыву реализации проекта в целом.

Планирование без учета мотиваций. Как правило, для работ по проектам привлекаются исполнители из функциональных подразделений, у которых есть свое руководство, свои цели и специфические задачи и, разумеется, своя форма оплаты труда, которые обычно никак не связаны с целями и задачами проекта. Поэтому исполнители не чувствуют ответственности и важности работ по проекту без надлежащего стимулирования за результаты своей деятельности. А руководитель проекта не наделен достаточными правами по стимулированию исполнителей, и не может формировать бюджет материального стимулирования по результатам их работы в проекте.

Планирование с излишней детализацией. Когда проект планируется слишком детально, возникают проблемы при анализе, планировании и контроле его состояния. Однако излишнее укрупнение тоже может привести к проблемам потери управляемости. Необходима золотая середина, когда в проекте планируются только те параметры, которыми можно и нужно управлять.

Планирование не для управления. К сожалению, это наиболее распространенная ошибка, когда планирование выполняется только ради того, чтобы план формально существовал.

Все ошибки планирования, перечисленные выше, могут стать причиной негативного отношения к плану, и тогда он перестает быть реальным инструментом управления работами по проекту.

2.8. Детальное планирование

Детальное планирование связано с разработкой детальных графиков для оперативного управления на уровне ответственных исполнителей. Наличие и сопровождение детального графика работ является одним из главных требований для управления проектом после его начала. Команда проекта полностью отвечает за составление графиков работ, если работы не являются излишне комплексными.

Уровень детализации графика зависит от сложности и размеров проекта. Приведенные выше рекомендации справедливы для любых проектов и нуждаются в уточнении в каждом конкретном случае. Поэтому, прежде чем приступить к построению детального графика, необходимо ответить на вопросы:

1. Для кого этот график предназначается?
2. Сколько событий или работ допустимо включать в график?
3. Насколько детально надо описывать технологию выполнения работ?

Процесс разработки детального графика представлен на рис. 2.4.

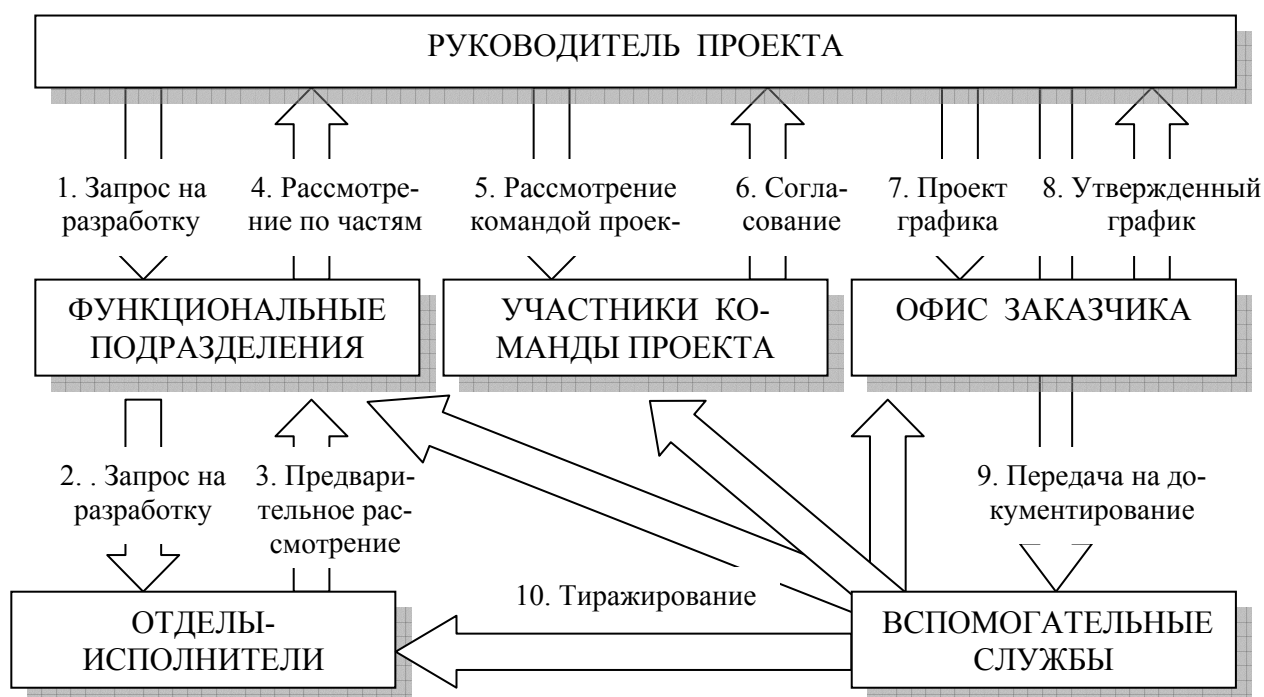


Рис. 2.4. Последовательность разработки детального графика проекта

Методы и средства разработки графиков могут отличаться, но все графики в обязательном порядке проходят утверждение у руководителя проекта. Форма представления графика должна быть удобной и наглядной как для заказчика, так и для исполнителей. График должен стать рабочим инструментом как для управления и согласования позиций на совещаниях, так и для сдачи работ, особенно когда сроки были сорваны, а бюджет превышен по независящим от команды проекта причинам.

Тема 3. МЕТОДЫ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

3.1. Преимущества методов сетевого планирования

Методы *сетевого* планирования и управления (СПУ) имеют ряд очевидных преимуществ, которые делают их применение высокоэффективным, а в ряде случаев – необходимым, несмотря на некоторые дополнительные затраты, связанные с их использованием, и на необходимость обучения персонала работе с ним.

Преимущества сетевого планирования и управления связаны в основном с формализацией представления проекта и использованием системного подхода для его анализа:

- 1) определяется сеть взаимосвязанных работ и событий, существенных при планировании достижения конечной цели проекта;
- 2) фиксируются области персональной ответственности руководителей работ и групп работ; проводятся агрегирование и разукрупнение работ в зависимости от уровня руководства (объема информации, необходимого для принятия решений);
- 3) облегчается координация деятельности соисполнителей; график выполнения работ, их взаимосвязь показываются в наиболее наглядном виде;
- 4) разрабатываются количественные (временные) оценки отдельных работ, рассчитываются обобщенные оценки групп работ и комплекса работ в целом;
- 5) выявляется и измеряется относительная неопределенность выполнения работ проекта, оценивается вероятность того, что работы будут завершены в установленный срок;
- 6) до руководства доводится информация о критических участках проекта и о резервном времени, в пределах которого некоторая задержка работ не отодвинет срока завершения проекта;
- 7) одна и та же сетевая модель используется как на стадии планирования, так и при управлении выполнением проекта для контроля и внесения оперативных изменений, отражающих фактически сложившиеся отклонения от плана;
- 8) на сети моделируются различные ситуации, выбираются оптимальные решения, в том числе – способы перераспределения ресурсов между работами;
- 9) открываются возможность и необходимость широкого использования ЭВМ для расчетов и оптимизации, учета и корректировки сетевых графиков комплексов работ;

- 10) широкое участие исполнителей в разработке сетевой модели проекта повышает точность всех оценок и создает дополнительные стимулы для быстрого и качественного выполнения работ.

Объектом сетевого планирования и управления являются коллективы людей, располагающие необходимыми ресурсами для выполнения поставленных перед ними задач. В соответствии с принципами системного подхода все исполнители, объединенные общей целью, рассматриваются как элементы единой, сложной организационной системы – проекта.

Методы СПУ находят широкое применение в самых разнообразных областях, там, где возникает необходимость в управлении крупными проектами. Это строительство Дворцов спорта и киноконцертных залов, плотин ГЭС и многоуровневых транспортных развязок. В промышленности это в первую очередь проектирование и подготовка производства новых изделий (например, изделий массового и крупносерийного выпуска – автомобилей, микросхем и т. п.), проектирование и изготовление уникальных изделий (например, изделий единичного выпуска – атомных ледоколов, крупных гидротурбин и т. п.). В шоу-бизнесе это съемка видеоклипов, приглашение из-за рубежа на концерты звезд мировой эстрады и т. п.

Мощный толчок развитию методов сетевого анализа дало их использование в осуществлении программы полета первого человека на Луну.

3.2. Математические основы сетевого планирования и управления проектами. Основные определения теории графов

Теория графов – область дискретной математики, которая занимается исследованием и решением разнообразных проблем, связанных с объектом, называемым графом. Первые работы по теории графов были выполнены в XVIII веке Эйлером.

Эйлер Леонард (1707–1783) – великий математик, физик, астроном. Швейцарец по происхождению был приглашен в 1726 году в создававшуюся в то время (1724 г.) Петербургскую Академию наук. В 1727 году переехал в Россию, стал адъюнктом, а в 1731 году – академиком. С 1741 по 1766 год работал в Берлинской Академии наук, а затем снова вернулся в Санкт-Петербург. Автор более 800 работ в различных областях, оказавших значительное влияние на развитие науки.

До 40-х годов нашего века эта теория развивалась как раздел теоретической математики, не имеющий существенных выходов в прикладную сферу. Затем начинается расцвет теории графов, связанный с бурным развитием двух направлений прикладной математики. Первое – задачи синтеза оптимальных систем переработки информации, второе – задачи математической экономики. Во второй половине XX века методами теории графов решено очень большое число экономических задач.

Назовем *графом* $G(N, A)$ совокупность двух конечных множеств: N – множества *вершин* или *узлов* графа и A – множества пар этих вершин, называемых *ребрами* графа.

Таким образом, граф может быть задан аналитически простым перечислением элементов обоих множеств. Например:

$\{N\}_1^n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$, где число вершин $n = 6$;

$\{A\}_1^k = 3-6; 5-1; 2-4; 4-6; 6-5; 1-3; 2-3; 4-1$, где число ребер $k = 8$.

Однако наибольший интерес представляет второй способ задания – графический. Зададим на плоскости множество N в виде кружков и множество A в виде линий, соединяющих эти кружки. Тогда тот же граф будет иметь вид, представленный на рис. 3.1.

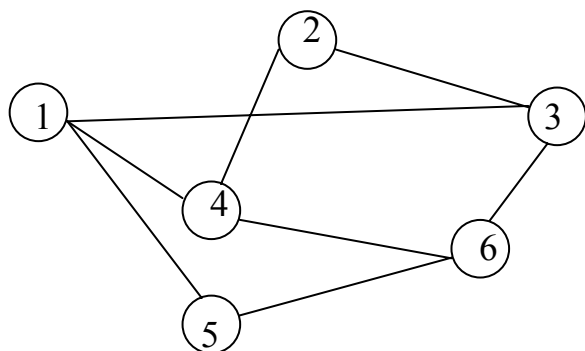


Рис. 3.1. Изображение графа

Ребро считается *ориентированным*, если порядок следования вершин в соответствующей паре $(ij) \in A$ строго задан. Такие пары называются *дугами* графа и изображаются на рисунках стрелками.

Граф $G(N, A)$ называется *ориентированным*, если все элементы его множества A – дуги.

Если считать заданный выше граф ориентированным, то его изображение будет выглядеть так, как показано на рис. 3.2.

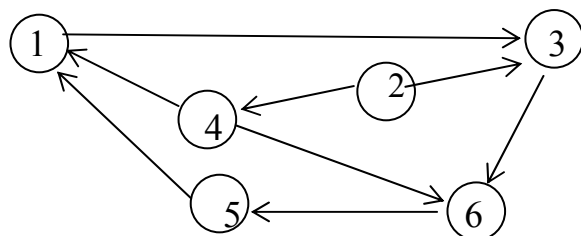


Рис. 3.2. Изображение ориентированного графа

Путь в ориентированном графе – это последовательность сцепленных одинаково ориентированных дуг, то есть это такая последовательность дуг, в которой каждая вершина, конечная для предыдущей дуги, является начальной для последующей.

Цикл в графе – это путь, начинающийся и заканчивающийся в одной и той же вершине. На рис. 3.2 есть цикл: 1-3, 3-6, 6-5, 5-1. Вырожденный цикл, состоящий из одной дуги $(ii) \in A$, называется *петлей*. Цикл в неориентированном графе или цикл, составленный из дуг без учета их ориентации, называется *контуром*.

Граф называется *связным* если при любом разбиении множества его вершин на два подмножества всегда найдется хотя бы одна дуга, принадлежащая множеству A , связывающая вершины двух этих подмножеств. Заданный нами ранее граф – связный.

Граф $\mathbf{H}(N, A)$ является *графом-деревом*, если для него выполняются два из трех условий:

- 1) это связный граф,
- 2) число его ребер на единицу меньше числа вершин, т. е. $k = n - 1$,
- 3) он не имеет контуров.

Граф $\mathbf{H}(N, A^*)$ является подграфом-деревом графа $\mathbf{G}(N, A)$, если $\mathbf{H}(N, A^*)$ это граф-дерево, построенный на том же множестве узлов, что и $\mathbf{G}(N, A)$, а множество его ребер $A^* \in A$. Один из возможных вариантов подграфа-дерева графа, изображенного на рис. 3.1, представлен на рис. 3.3.

Для выполнения формальных преобразований и постановки прикладных задач удобна матричная форма задания графов. Полную информацию о графе дает матрица смежности вершин (матрица репрезентативности графа). Это квадратная матрица размерности $n \times n$, в которой единицы ставятся на пересечении i -х строк и j -х столбцов для всех дуг $(ij) \in A$. Остальные клетки матрицы содержат нули. Если граф ориентированный, то вершинам i , называемым вершинами-предками, соответствуют строки матрицы, а вершинам j , называемым вершинами-потомками, — ее столбцы. Матрица смежности вершин графа, заданного с помощью рис. 3.2, показана в табл. 3.1.

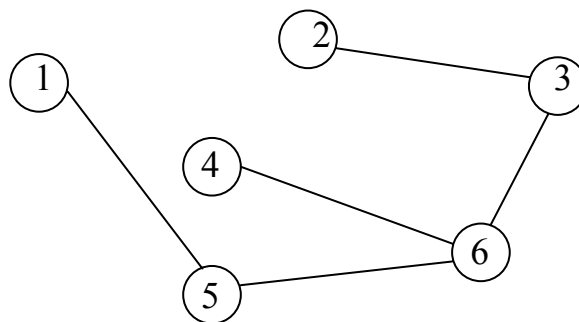


Рис. 3.3. Подграф-дерево неориентированного графа

Таблица 3.1

		Вершины-потомки					
		1	2	3	4	5	6
Вершины-предки	1			1			
	2			1	1		
	3						1
	4	1					1
	5	1					
	6					1	

есть симметричной относительно главной диагонали.

3.3. Отношения строгого порядка следования вершин в ориентированном связном графе без циклов

Для удобства работы с графами, в том числе для выполнения на них различных расчетов, вершины графа должны быть упорядочены и перенумерованы.

ны. Упорядочению подлежат только ориентированные связные графы без циклов.

Для упорядочения вершин используется метод разбиения множества N на *слои*. Каждый слой – это подмножество множества N , отвечающее следующему условию: все вершины данного слоя имеют предков только в предыдущих слоях, или, что то же самое, – все вершины данного слоя имеют потомков только в последующих слоях. Как следствие, отметим, что вершины внутри одного слоя не связаны между собой дугами.

Разбиение на слои выполняется двумя способами:

- *исключением предков,*
- *исключением потомков.*

Рассмотрим второй способ.

1. Выделим вершины, не имеющие потомков. Очевидно, что это завершающие вершины графа и их следует отнести к последнему слою.
2. Исклучим из рассмотрения (на рисунке – вычеркнем) найденные вершины и все дуги, ведущие к ним. В результате такого усечения получим подграф, т. е. частичный граф по отношению к исходному. В нем снова выделим вершины, не имеющие потомков, и отнесем их уже к предпоследнему слою.
3. Продолжим эту процедуру до тех пор, пока не просмотрим все вершины исходного графа.

Заметим, что приведенный алгоритм формирует слои, начиная с последнего. Алгоритм исключения предков аналогичен, но формирует слои, начиная с первого.

Рассмотренный алгоритм может быть реализован не только на рисунке, задающем граф, но и с помощью его матрицы репрезентативности, что для больших графов значительно удобнее, а также позволяет использовать для упорядочения ЭВМ.

Чтобы определить на первом шаге, какие вершины не имеют потомков, нужно просто сложить единицы по строкам матрицы. Суммы покажут, сколько потомков есть у каждой вершины, и там, где суммы равны нулю, – потомков нет.

Чтобы на втором шаге исключить из рассмотрения найденные вершины соответствующие строки вычеркиваются. Чтобы исключить ведущие в них дуги из матрицы вычеркиваются столбцы с номерами этих вершин. В усеченной матрице, соответствующей усеченному графу, снова выполняется суммирование по строкам и по новым нулевым суммам отыскиваются вершины предпоследнего слоя. Так продолжается до окончания рассмотрения всех вершин.

Алгоритм исключения предков аналогичен, но суммирование для определения числа предков производится по столбцам матрицы. Заметим, что два этих подхода могут дать неодинаковые результаты разбиения множества вершин на слои. Приведенный выше матричный алгоритм упорядочения вершин графа носит имя Де-Мукрона.

После упорядочения вершин производится их перенумерация. Вершины графа обозначаются, как правило, числами натурального ряда, причем от слоя к слою нумерация монотонно возрастает, а внутри слоя она безразлична.

Пример.

Пусть задан граф (рис. 3.4) размерностью $n = 10$, $k = 18$. Требуется упорядочить его вершины методом Де-Мукрона и перенумеровать их.

Составим матрицу смежности вершин графа размерностью 10×10 и дополним ее нужным количеством столбцов, содержащих суммы для реализации метода исключения потомков, и строк – для метода исключения предков (табл.3.2).

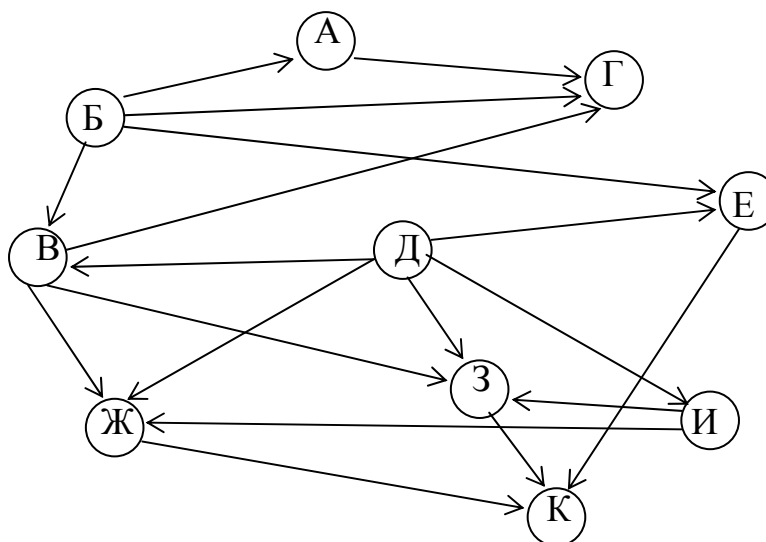


Рис. 3.4. Исходный граф для упорядочения вершин

Изобразим упорядоченный граф с учетом того, что формирование слоев методом исключения потомков идет от конца к началу, а затем произведем перенумерацию его вершин. Результат представлен на рис. 3.5. Упорядочение методом исключения предков дало другой результат, представленный на рис. 3.6.

3.4. Переход от графа к сетевой модели комплекса работ

Поставим на графе прикладную экономико-управленческую задачу и назовем ее *задачей управления проектом*. Пусть дан ориентированный связный граф без циклов $G(N, A)$. Зададим на нем некоторую функцию T , таким образом, что каждой дуге графа $(ij) \in A$ поставим в соответствие некоторое неотрицательное число t_{ij} . Назовем дуги графа *работами*, а вершины – *событиями*. Числа t_{ij} назовем *продолжительностями работ*.

		Вершины-потомки										Пошаговые суммы			
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Σ_1	Σ_2	Σ_3	Σ_4
В	А				1							1	0	-----	

	Б	1		1	1		1					4	3	1	0
	В				1			1	1			3	2	0	-----
	Г											0	-----	-----	-----
	Д			1			1	1	1	1		5	5	2	0
	Е										1	1	0	-----	-----
	Ж										1	1	0	-----	-----
	З										1	1	0	-----	-----
	И							1	1			2	2	0	----
	К											0	-----	-----	-----
Пошаговые суммы	Σ_1	1	0	2	3	0	2	3	3	1	3				
	Σ_2	0		0	2		0	2	2	0	3				
	Σ_3				0			0	0		2				
	Σ_4										0				

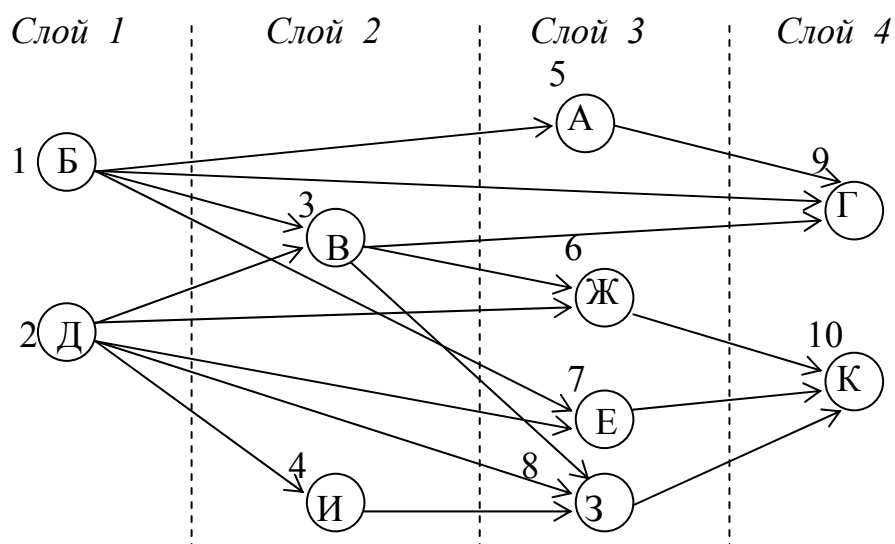
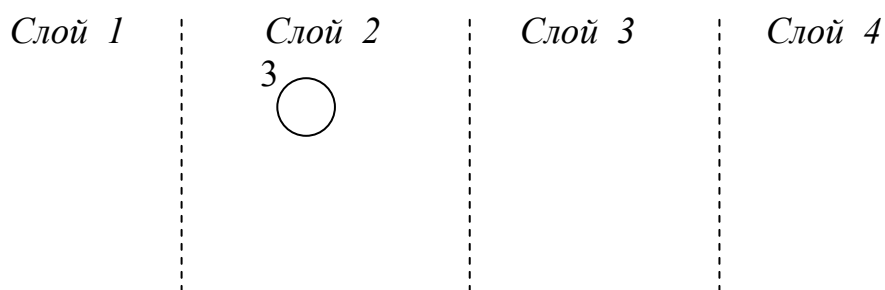


Рис. 3.5. Граф после упорядочения вершин методом исключения потомков и перенумерации вершин

Работа – это некоторое действие, сопровождающееся затратами времени, материальных, трудовых и финансовых ресурсов.

Фиктивная работа не требует затрат времени или других ресурсов: $t_{ij} = 0$; она отражает лишь логическую взаимосвязь между событиями (за i следует j). Обозначается фиктивная работа, как правило, пунктирной стрелкой.

Событие – это промежуточный этап выполнения комплекса работ. Событие означает, что все предшествующие ему работы завершены и существуют необходимые и достаточные условия для начала следующих за ним работ.



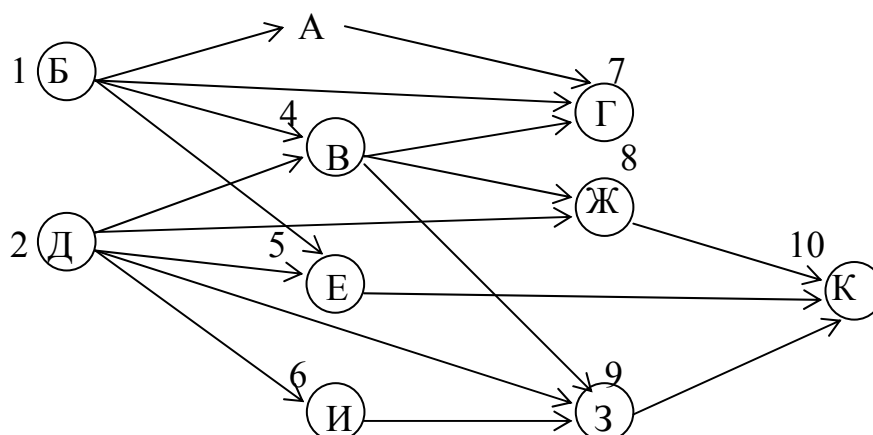


Рис. 3.6. Граф после упорядочения вершин методом исключения предков и перенумерации вершин

С учетом введенных определений граф представляет собой *сетевую модель* комплекса работ. Такую модель можно отнести к группе однопродуктовых моделей, так как на ней подлежит контролю только один параметр – время.

Сетевая модель комплекса работ, как это уже отмечалось, может быть представлена только ориентированным связным графом без циклов. При этом сеть должна иметь только одно начальное и одно завершающее событие, т. е. одно логическое начало и одно завершение проекта. Если это требование не выполняется и возникают так называемые тупики первого и второго рода, то проблема решается введением в сеть фиктивных работ, как показано на рис. 3.7.

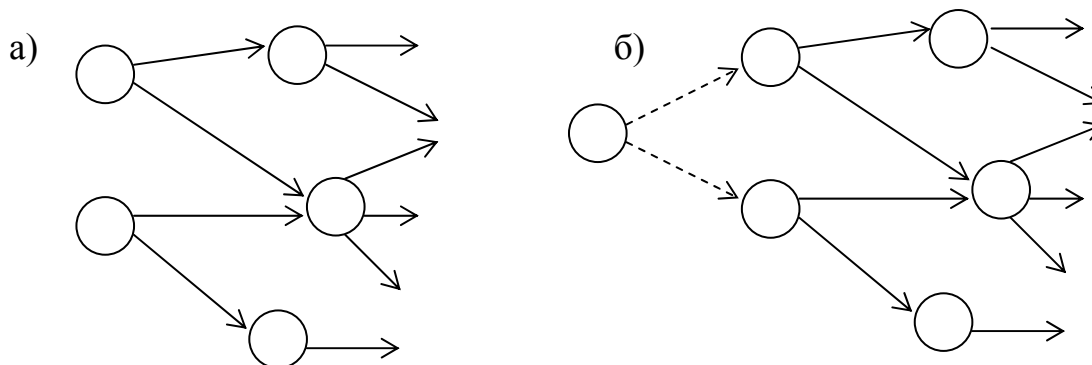


Рис. 3.7. Пример избавления от тупика первого рода в сети с помощью двух фиктивных работ: а – технически неверно выполненное начало сети; б – начало сети соответствует требованиям к сетевым моделям проектов

Поскольку одна работа в сетевой модели или дуга в графе связывает (представляет) пару смежных событий или вершин, второй, третьей и т. д. работы (дуги) между парой тех же вершин быть не может. Однако, следуя реальной логике взаимосвязи работ, такая конструкция может возникнуть. Снять противоречия между техникой исполнения и логикой сетевой модели помогают те же фиктивные работы, дополнительно введенные в сеть (рис. 3.8).

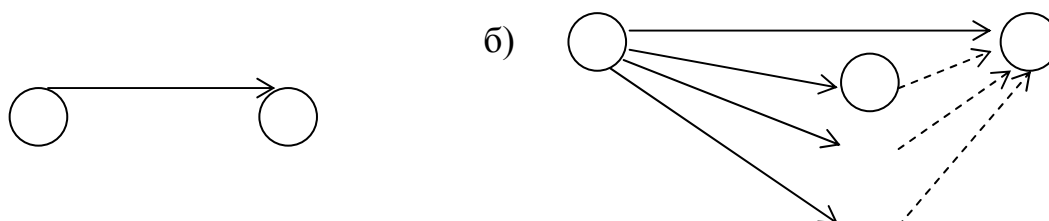




Рис. 3.8. Технически недопустимое (а) и правильное (б) изображение одной и той же логической связи между четырьмя работами

Для более наглядного изображения логики взаимосвязи работ может оказаться удобным использование другой сетевой интерпретации графа, при которой узлам придается смысл работ, а дугам – событий. Она носит название "работы–связи", в отличие от введенной ранее "события–операции".

В терминах "работы–связи" фрагмент сети, изображенный на рис. 3.8, независимо от варианта а) или б), выглядит так, как представлено на рис. 3.9.

Чтобы не путать две сетевые интерпретации графа, во второй из них в узлах графа помещают не круги, а квадраты. Отметим, что между ними существует взаимно однозначное соответствие.

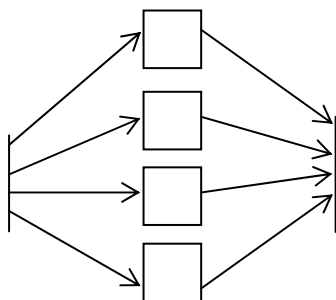


Рис. 3.9. Сеть в терминах "работы–связи"; в узлах стоят те же четыре работы, что и на рис. 3.8

В ряде случаев оказывается, что достаточно просто изображаемую в терминах «работы–связи» логическую взаимосвязь между работами не просто выразить в терминах "события–операции" (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Один и тот же фрагмент графа, изображенный в терминах:
а – "работы–связи"; б – "события–операции"

3.5. Детерминированный расчет временных характеристик проектов. Метод критического пути (СРМ)

Основными задачами сетевого анализа являются планирование и оперативный контроль сроков выполнения отдельных работ и этапов проекта с помощью сетевой модели этого проекта. Укажем временные характеристики, подлежащие при этом расчету. К ним относятся:

1. Ранние сроки свершения событий.
2. Поздние сроки свершения событий.
3. Резервы событий.
4. Продолжительность критического пути.
5. Ранние начала и окончания работ.
6. Поздние начала и окончания работ.
7. Резервы работ:
 - 7.1) полный резерв,
 - 7.2) свободный резерв,
 - 7.3) частный резерв первого рода,
 - 7.4) частный резерв второго рода.

Существуют два подхода к расчету временных характеристик, при которых продолжительности работ t_{ij} считаются: 1) строго детерминированными величинами, 2) случайными величинами. Эти подходы и рассмотрены далее.

3.5.1. Ранние сроки свершения событий

Ранний срок свершения события – это наиболее раннее время относительно начала выполнения комплекса работ, когда может свершиться данное событие.

Ранний срок свершения события численно равен продолжительности максимального из путей от начального события сети до данного события.

Обратите внимание на то, что в реальной крупной сети число путей от ее начала до любого события, расположенного ближе к концу, может быть очень велико. Поэтому прямо использовать приведенное выше определение для расчета ранних сроков событий не представляется возможным. Применительно к условным учебным сетевым моделям небольшого размера, содержащимся в настоящем пособии, это возможно, но нежелательно.

Для расчета ранних сроков t_{pj} используется специальный алгоритм, называемый алгоритмом Форда:

- 1) для начального события сети всегда $t_{p1} = 0$;
- 2) для каждого последующего события по порядку выбирается максимум по всем его предкам $t_{pj} = \max\{t_{pi} + t_{ij}\}$.

Расчеты выполняются в таблице, форма которой показана в примере (табл. 3.3). Число записей ($t_{pi} + t_{ij}$) в столбце таблицы равно количеству предков данного события; максимальное значение как-либо выделяется и используется для расчетов ранних сроков последующих событий.

По определению ранний срок завершающего события сети равен длительности максимального полного пути данной сети, т. е. максимального пути, связывающего начальное и конечное события. Такой путь называется критическим. Именно этот путь (последовательность работ) определяет срок завершения проекта. Именно на работы *критического пути* руководители проекта в целом, направлений, тем и т. д. должны обращать основное внимание во избежание срыва сроков выполнения проекта, либо желая ускорить его завершение.

Таким образом, алгоритм Форда позволяет найти продолжительность критического пути $T_{кр}$, однако он не дает ответа на вопрос, какая последовательность работ является критической.

Работа принадлежит критическому пути, если выполняется условие:

$$t_{pj} - t_{pi} = t_{ij},$$

причем проверка начинается с завершающего события и идет к началу сети. Если проверять это условие наоборот, от начального события, то ему будет удовлетворять множество работ, составляющих подграф-дерево максимальных путей от начального события до всех событий сети. И только одна «ветвь» этого дерева будет полной, т. е. явится критическим путем. Проверка условия от завершающего события к началу отсекает все лишние ветви и существенно сокращает объем вычислений.

В сети возможно существование нескольких критических путей, имеющих максимальную и равную друг другу длительность.

3.5.2. Поздние сроки свершения событий

Поздним сроком свершения события называется предельное по отношению к началу выполнения комплекса работ время свершения данного события, не влияющее на срок завершения проекта.

Поздний срок свершения события численно равен разности между длиной критического пути $T_{кр}$ и продолжительностью максимального из путей от данного события до завершающего μ_j :

$$t_{ni} = T_{кр} - \mu_j.$$

Значения μ_j могут быть найдены с помощью алгоритма Форда, исполненного в обратную сторону, т. е. от завершающего события к начальному против направления стрелок.

Тогда: $\mu_i = \max\{\mu_j + t_{ij}\}$ (максимум отыскивается по всем потомкам j события i),

$$t_{ni} = T_{кр} - \mu_i = T_{кр} - \max\{\mu_j + t_{ij}\} = \min\{T_{кр} - \mu_j - t_{ij}\},$$

но так как $t_{nj} = T_{кр} - \mu_j$, можно записать: $t_{ni} = \min\{t_{nj} - t_{ij}\}$.

Расчеты поздних сроков выполняются в той же таблице, что и ранних, по аналогичным правилам (табл. 3.3). На основании проверки выполнения условия $t_{nj} - t_{ni} = t_{ij}$ может быть построено дерево максимальных путей от каждого события сети до завершающего (при проверке от конца к началу) или сразу же выделен критический путь (при проверке от начального события к конечному).

3.5.3. Резервы событий

Резерв события показывает продолжительность интервала времени, в течение которого может свершиться данное событие.

Резерв событий R_j определяется по формуле:

$$R_j = t_{nj} - t_{pj}.$$

3.5.4. Ранние и поздние начала и окончания работ

До сих пор речь шла только о сроках свершения событий. Однако исполнители проекта ориентируются на выполнение работ. Поэтому для их удобства вводится (рассчитывается) еще одна группа временных характеристик проекта, привязанных именно к работам. Это:

- раннее начало работы – $t_{pn\ ij} = t_{pi}$,
- раннее окончание работы – $t_{po\ ij} = t_{pi} + t_{ij}$,
- позднее окончание работы – $t_{пo\ ij} = t_{пj}$,
- позднее начало работы – $t_{пн\ ij} = t_{пj} - t_{ij}$.

3.5.5. Резервы работ

Большое значение для менеджера проекта имеет знание резервов, которыми располагают отдельные работы. Существуют четыре вида резервов работ: полный, свободный, два частных, причем анализ каждого из них имеет для менеджера свой смысл.

- Полный резерв работы – $R_{п\ ij} = t_{пj} - t_{pi} - t_{ij}$,
- свободный резерв работы – $R_{св\ ij} = \max\{t_{пj} - t_{пi} - t_{ij}; 0\}$,
- частный резерв 1-го рода – $R_{ч1\ ij} = t_{пj} - t_{пi} - t_{ij}$,
- частный резерв 2-го рода – $R_{ч2\ ij} = t_{pj} - t_{pi} - t_{ij}$.

Полный резерв – это максимальный резерв работы. Образуется он, если событие-предок свершается в свой ранний срок, а событие-потомок – в поздний. Если работа использует свой полный резерв, то в сети появляется новый критический путь, проходящий через неё, и, следовательно, все работы, лежащие на этом пути, полностью лишаются своих резервов. Частично при этом лишаются своих резервов и работы, связанные с этим путём, т. е. такие, предок или потомок которых лежит на этом пути.

Свободный (независимый) резерв – это минимальный резерв работы. Поскольку интервал между t_{pj} и $t_{пi}$ не может быть уменьшен, работа только сама располагает свободным резервом. Никакие другие работы воспользоваться им не могут. Свободный резерв возникает у работ достаточно редко и только в тех случаях, когда между событиями предком и потомком данной работы существует другой «обходной» путь большей длительности, чем продолжительность самой работы.

Свободный – это единственный резерв, который по расчету может оказаться отрицательным. Но поскольку это не имеет смысла, резерв в таком случае принимается равным нулю.

Частный резерв 1-го рода равен нулю на ветвях подграфа-дерева максимальных путей от каждого события сети до завершающего. Действительно, для работ, принадлежащих этому дереву, выполняется условие $t_{пj} - t_{пi} = t_{ij}$ (см. разд. 3.5.2) или, что то же самое, $t_{пj} - t_{пi} - t_{ij} = 0$. Следовательно, частный резерв 1-го рода образуется у работ, не входящих в это дерево. Если работа использует данный резерв, то она частично или полностью лишит резервов другие работы, следующие за ней.

Частный резерв 2-го рода образуется у работ, не лежащих на дереве максимальных путей от начального до каждого события сети. Если работа использует данный резерв, то это повлияет на резервы предшествующих работ, но не повлияет на резервы последующих.

Расчеты всех параметров работ сводятся в таблицу, приведенную в примере (табл. 3.4).

Пример

Пусть задана сетевая модель проекта (рис. 3.11.). Длительности работ указаны на модели около каждой из них. Требуется рассчитать все временные характеристики проекта, указать, как проходит критический путь.

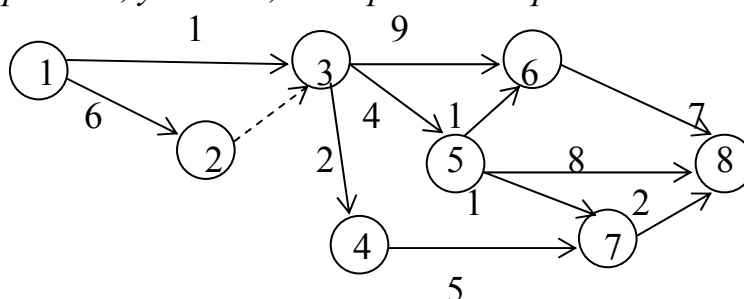


Рис. 3.11. Сетевая модель проекта

Расчеты ранних и поздних сроков свершения событий методом Форда сведены в табл. 3.3. Причем расчет поздних сроков выполнен двумя методами: через промежуточные величины μ и без них. Оба расчета имеют одинаковую силу, поэтому пользоваться можно любым из них. Напомним, что ранние сроки считаются в таблице слева направо, а значения μ и поздние сроки – справа налево. В таблицу же включен расчет резервов событий.

Таблица 3.3

	С о б ы т и я							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ранние сроки свершения событий	0	6	1 6	8	10	15 11	11 13	22 18 15
	0	6	6	8	10	15	13	22
μ	22 17	16	9 12 16	7	8 8 3	7	2	0
	22	16	16	7	8	7	2	0

Продолжение табл. 3.3

Поздние сроки	0	6	6	15	14	15	20	22
Поздние сроки свершения событий	0 5	6	13 10 6	15	14 19 14	15	20	22
	0	6	6	15	14	15	20	22
Резервы событий	0	0	0	7	4	0	7	0

События на критическом пути всегда имеют нулевой резерв. Однако пользоваться этим свойством для отыскания последовательности критических работ надо очень осторожно. Например, для нашей сети, используя его, нельзя ответить на вопрос, единственен ли критический путь, проходящий по работам 1-2, 2-3 и далее, или есть второй – через работу 1-3? Вопрос здесь кажется очень простым, однако для реальных крупных сетей он приобретает принципиальное значение.

Отыщем критический путь, следуя приведенному ранее алгоритму.

Начнем с завершающего события:

$$t_{p8} - t_{p7} = 22 - 13 = 9 > t_{78},$$

$$t_{p8} - t_{p6} = 22 - 15 = 7 = t_{68},$$

$$t_{p8} - t_{p5} = 22 - 10 = 12 > t_{58},$$

это означает, что работа 6-8 является критической, и продолжать проверку следует для события 6;

$$t_{p6} - t_{p3} = 15 - 6 = 9 = t_{36},$$

$$t_{p6} - t_{p5} = 15 - 10 = 5 > t_{56},$$

работа 3-6 – критическая, а проверку продолжим для события 3;

$$t_{p3} - t_{p1} = 6 - 0 = 6 > t_{13},$$

$$t_{p3} - t_{p2} = 6 - 6 = 0 = t_{23},$$

фиктивная работа 2-3 также принадлежит критическому пути, хотя никакой смысловой нагрузки этот факт не несет; проверку завершим работой 1-2:

$$t_{p2} - t_{p1} = 6 - 0 = 6 = t_{12}$$

Таким образом, критический путь включает работы: 1-2, 2-3, 3-6, 6-8.

Проверка, начатая с первого события, займет больше времени и даст дерево максимальных путей от начального до каждого события сети, в том числе и до последнего, т. е. покажет критический путь (рис. 3.12).

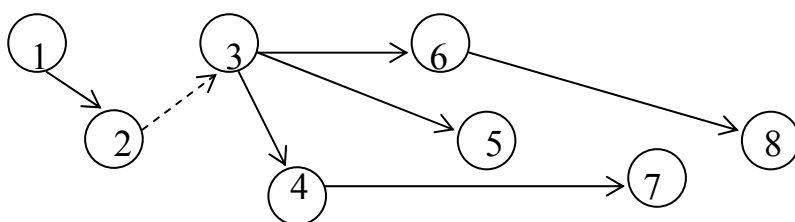


Рис. 3.12. Дерево максимальных путей от начального до каждого события сети

Используя рассчитанные поздние сроки и выполняя проверку от последнего события, можно построить дерево максимальных путей от каждого события сети до завершающего (рис. 3.13). Оно будет отличаться от дерева, представленного на рис. 3.12.

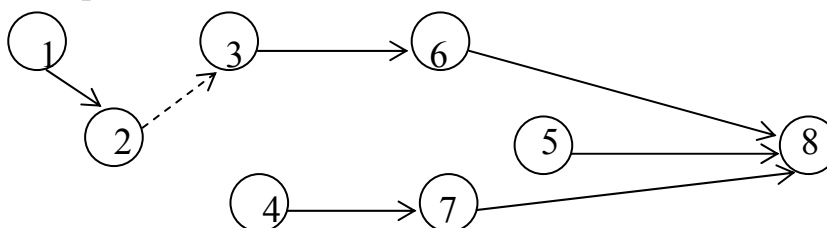


Рис. 3.13. Дерево максимальных путей от каждого события сети до завершающего

Результаты расчетов ранних и поздних начал и окончаний работ, а также всех четырех резервов работ приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Работа ij	t_{ij}	Начала и окончания работ				Резервы работ			
		$t_{рн}$	$t_{ро}$	$t_{пн}$	$t_{по}$	$R_{пij}$	$R_{нij}$	$R_{ч2ij}$	$R_{ч1ij}$
1-2	6	0	6	0	6	0	0	0	0
1-3	1	0	1	5	6	5	5	5	5
2-3	0	6	6	6	6	0	0	0	0
3-4	2	6	8	13	15	7	0	7	0
3-5	4	6	10	10	14	4	0	4	0
3-6	9	6	15	6	15	0	0	0	0
4-7	5	8	13	15	20	7	0(-7)	0	0
5-6	1	10	11	14	15	4	0	0	4
5-7	1	10	11	19	20	9	0(-2)	5	2
5-8	8	10	18	14	22	4	0	0	4
6-8	7	15	22	15	22	0	0	0	0
7-8	2	13	15	20	22	7	0	0	7

3.6. Стохастический расчет временных характеристик проектов.

Метод PERT-time

На практике при формировании первичных сетевых моделей бывает очень сложно дать точную оценку длительности выполнения отдельных работ. Особенно если это работы творческие по содержанию, например; исследовательские, конструкторские и др. Тогда их продолжительности считаются случайными величинами и задаются с помощью системы оценок.

Вспомним, что для задания случайной величины, как правило, достаточно указать: 1) закон ее распределения, 2) математическое ожидание, 3) дисперсию. Однозначного решения относительно закона распределения продолжительностей работ нет. Ученые склоняются к двум вариантам, которым соответствуют два подхода.

1. Если длительность работ считать подчиняющейся закону β -распределения, то следует использовать двухоценочную систему, в которой для каждой работы задаются:

a_{ij} – оптимистическая оценка длительности,

b_{ij} – пессимистическая оценка длительности

$$a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij}.$$

и рассчитываются:

$\bar{t}_{ij}$ – математическое ожидание длительности работы

$$\bar{t}_{ij} = \frac{3a_{ij} + 2b_{ij}}{5},$$

σ_{ij}^2 – дисперсия длительности,

$$\sigma_{ij}^2 = \frac{(b_{ij} - a_{ij})^2}{25}.$$

2. Если длительность работ считать подчиняющейся нормальному закону распределения, то следует использовать трехоценочную систему, в которой дополнительно задается третья оценка m_{ij} – медиана, а расчеты выполняются несколько иначе:

$$\bar{t}_{ij} = \frac{a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij}}{6},$$

$$\sigma_{ij}^2 = \frac{(b_{ij} - a_{ij})^2}{36}.$$

Далее могут быть рассчитаны все временные характеристики проекта с помощью уже известных алгоритмов (см. разд. 3.5). Поскольку в алгоритмах используются только действия сложения и вычитания и применяются они к математическим ожиданиям длительностей работ, то и результат любого расчета также будет представлять собой математическое ожидание случайной величины. Ее дисперсия будет равна сумме дисперсий тех работ, что участвовали в расчете. Рассчитанные таким образом параметры проекта в силу центральной предельной теоремы теории вероятности распределены по нормальному закону. Всё сказанное справедливо лишь для достаточно больших проектов, где при расчетах параметров суммируются более десятка случайных величин – длительностей работ.

Стохастическая постановка управления проектами позволяет решить две специфические задачи. Найти:

- 1) с какой вероятностью проект будет завершён к плановому сроку,
- 2) к какому сроку проект может быть завершён с заданной вероятностью.

Для решения обеих задач используется ξ – нормированное отклонение случайной величины, распределенной нормально, или квантиль.

Если задан плановый срок $T_{пл}$, то выполняется расчет

$$\xi(p) = \frac{T_{пл} - \bar{T}_{кр}}{\sigma_{кр}},$$

где $\bar{T}_{кр}$ – математическое ожидание длины критического пути;

$\sigma_{кр}^2$ – дисперсия критического пути, рассчитанная как сумма дисперсий работ, лежащих на критическом пути, $\sigma_{кр}^2 = \sum_{ij \in I_{кр}} \sigma_{ij}^2$.

Затем по таблице накопленной (интегральной) вероятности для нормального закона (см. Приложение) отыскивается значение искомой вероятности.

Если задана требуемая вероятность завершения проекта p_0 , то расчет ожидаемого срока выполняется по формуле

$$T_{\text{ож}} = T_{\text{кр}} + \xi(p_0) \sigma_{\text{кр}}.$$

При этом значение квантиля определяется на основании заданной вероятности по той же таблице. Она представляет собой основное поле, где приведены значения вероятности, и "рамку", в которой указаны значения квантиля: в крайнем левом столбце – целые и десятые доли, а в верхней строке – сотые доли. Функция накопленной вероятности симметрична относительно "0" для квантиля и "0,5" – для вероятности, поэтому в таблицу включена только одна ее "ветвь". Это означает, что в основном поле приведены только отклонения вероятности от 0,5, причем, если существует отклонение в большую сторону, то квантиль принимает положительное значение, если в меньшую – отрицательное. Так, например, квантиль вероятности $0,67 = (0,5 + 0,17)$ равен по модулю (0,44) квантилю вероятности $0,33 = (0,5 - 0,17)$, но имеет другой знак.

Пример

Пусть задана вероятностная сетевая модель проекта, топология которой показана на рис. 3.14, а оценки длительностей работ сведены в табл. 3.5. Использована трехоценочная система.

Требуется определить, с какой вероятностью проект будет завершён к следующим срокам: а) $T_{\text{пл}} = 160$ дн., б) $T_{\text{пл}} = 159$ дн., в) $T_{\text{пл}} = 155$ дн.; а также, к какому сроку завершится проект со следующими вероятностями: а) $p_0 = 0,8$, б) $p_0 = 0,5$, в) $p_0 = 0,1$.

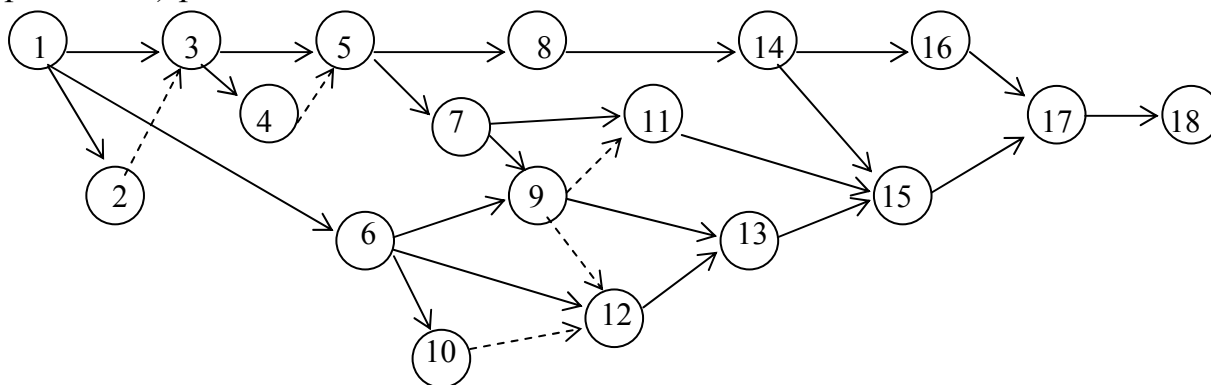


Рис. 3.14. Исходная сетевая модель проекта для стохастического расчета

Таблица 3.5

Код работы	Оценки длительности работы			t_{ij}	σ^2_{ij}	Код работы	Оценки длительности работы			t_{ij}	σ^2_{ij}
	a_{ij}	m_{ij}	b_{ij}				a_{ij}	m_{ij}	b_{ij}		
1-2	19	22	25	22,00	1,00	7-11	4	5	6	5,00	0,11
1-3	7	8	9	8,00	0,11	8-14	17	18	20	18,17	0,25
1-6	1	2	3	2,00	0,11	9-11	0	0	0	0	0
2-3	0	0	0	0	0	9-12	0	0	0	0	0
3-4	15	17	19	17,00	0,44	9-13	11	13	14	12,83	0,25
3-5	11	12	14	12,17	0,25	10-12	0	0	0	0	0
4-5	0	0	0	0	0	11-15	6	7	8	7,00	0,11
5-7	16	20	25	20,17	2,25	12-13	24	27	30	26,30	1,00

5-8	1	2	3	2,00	0,11	13-15	18	20	23	20,17	0,69
6-9	2	3	4	3,00	0,11	14-15	5	9	12	8,83	1,36
6-10	2	3	4	3,00	0,11	14-16	10	11	13	11,17	0,25
6-12	2	3	4	3,00	0,11	15-17	14	18	20	17,67	1,00
7-9	22	26	29	25,83	1,36	16-17	1	6	9	5,67	1,78
						17-18	8	10	13	10,17	0,69

В табл. 3.5 показаны также результаты расчета математических ожиданий и дисперсий длительностей всех работ сети. Выделены дисперсии работ критического пути, в сумме составляющие $\sigma_{кр}^2 = 8,44$. Расчет ранних сроков событий, в том числе продолжительности критического пути, нахождение последовательности работ критического пути выполнены с помощью метода Форда (табл. 3.6).

Таблица 3.6

	С о б ы т и я								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ран- ние сроки	0	22	8 22	39	34,17 39	2	59,17	41	85 5
	0	22	22	39	39	2	59,17	41	85
	С о б ы т и я (продолжение)								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ран- ние сроки	5	85 64,17	85 5	97,83 111,33	59,17	68 92 131,5	70,33	76 149,17	159,33
	5	85	85	111,33	59,17	131,5	70,33	149,17	159,33

Рассчитаем значения квантиля для трех вариантов прямой задачи и найдем по ним вероятности, используя таблицу в Приложении:

а) $T_{пл} = 160$ дн.,

$$\xi(p) = \frac{160 - 159,33}{2,906} = 0,2305, \Rightarrow p = 0,5 + 0,0909 = 0,5909;$$

б) $T_{пл} = 159$ дн.,

$$\xi(p) = \frac{159 - 159,33}{2,906} = -0,1136, \Rightarrow p = 0,5 - 0,0457 = 0,4543;$$

в) $T_{пл} = 155$ дн.,

$$\xi(p) = \frac{155 - 159,33}{2,906} = -1,4900, \Rightarrow p = 0,5 - 0,4319 = 0,0681.$$

Теперь, используя ту же таблицу, отыщем квантили по заданным значениям вероятности и на их основе рассчитаем ожидаемые сроки завершения проекта:

а) $p_0 = 0,8 \Rightarrow \xi(p_0) = 0,841,$

$$T_{ож} = 159,33 + 0,841 \times 2,906 = 161,77 \text{ дн.};$$

б) $p_0 = 0,5 \Rightarrow \xi(p_0) = 0,$

$$T_{ож} = 159,33 + 0 \times 2,906 = 159,33 \text{ дн.};$$

$$в) p_0 = 0,1 \Rightarrow \xi(p_0) = -1,281,$$

$$T_{ож} = 159,33 - 1,281 \times 2,906 = -155,61 \text{ дн.}$$

Логично было бы предполагать, что вероятность завершения проекта к сроку, превышающему математическое ожидание $T_{кр}$, окажется более 50 %, к сроку, меньшему, чем математическое ожидание $T_{кр}$, – менее 50 %, а с вероятностью 50 % проект завершится именно к этому сроку. Расчеты полностью подтверждают логику наших рассуждений.

3.7. Задачи для самоконтроля

1. Граф размерностью $n = 9$, $k = 15$ задан аналитически: $\{N\} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$; $\{A\} = 1-5, 1-6, 1-7, 2-7, 2-8, 3-7, 4-3, 4-5, 4-7, 7-5, 8-3, 8-4, 8-9, 9-3, 9-4$. Требуется составить для него матрицу смежности вершин, считая граф ориентированным, и изобразить его графически. Проверить граф на связность и наличие циклов.

2. Граф, заданный в предыдущей задаче, требуется упорядочить сначала методом вычеркивания, затем методом Де-Мукрона. Использовать при этом оба подхода: исключение предков и исключение потомков. Изобразить граф разбитым на слои. Сравнить полученные результаты.

3. На рис. 3.15 заданы графы.

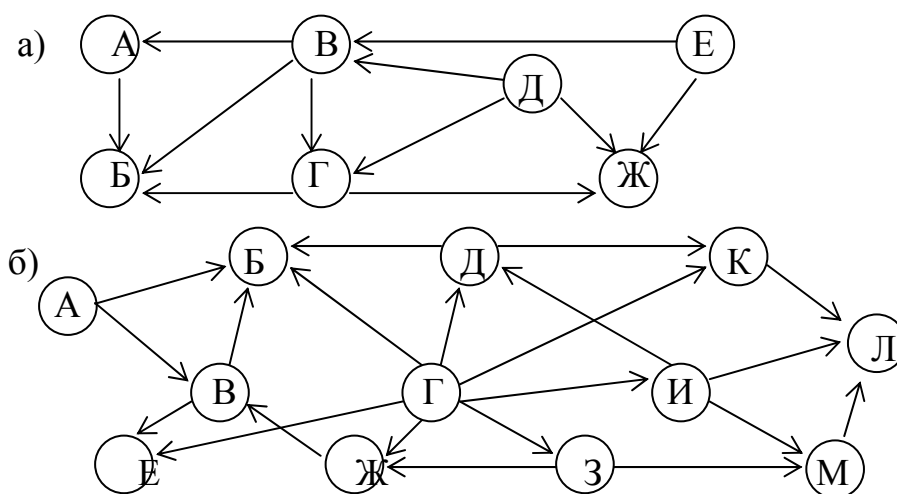


Рис. 3.15. Исходные графы для упорядочения к задаче 3

Требуется упорядочить их методом Де-Мукрона и изобразить разбитыми на слои. Вершины перенумеровать. Использовать оба способа: исключение предков и исключение потомков.

4. Предложите формальный способ проверки графа на наличие циклов и отыскания вершин, вошедших в цикл (циклы). Используйте для этого, например, матрицу смежности вершин графа.

5. Составьте сетевую модель в терминах "работы–связи" по информации из табл. 3.7. Представьте затем полученную сеть в терминах "события–операции".

Таблица 3.7	
Обозна-	Обозначения

чение работы	Содержание работы	предшествующих работ
а	Разработка проекта дома на садовом участке	-
б	Валка леса на участке	-
в	Корчевка пней на месте будущего дома	б
г	Корчевка пней на остальном пространстве участка	в
д	Рытье котлована под фундамент дома	а, в
е	Закупка материалов для строительства	а
ж	Завоз материалов на участок	е
з	Заливка фундамента	д, ж
и	Возведение дома	з
к	Внутренняя отделка дома	и
л	Перекопка земли на участке	г, и
м	Разработка плана посадок на участке	г, и
н	Закупка посадочного материала	м
о	Посадки	л, н
п	Рытье колодца	г, и
р	Празднование новоселья с друзьями	к, о, п

6. Составьте сетевую модель комплекса работ, самостоятельно определив логику их следования:

Согласование технического задания на разработку прибора.

Разработка блок-схемы прибора.

Разработка принципиальной схемы блока А.

Разработка принципиальной схемы блока Б.

Разработка принципиальной схемы блока В.

Разработка принципиальной схемы блока Г.

Расчет на ПЭВМ схемы блока Г.

Составление единой принципиальной схемы прибора.

Заказ недостающих комплектующих изделий для изготовления прибора.

Разработка конструкции корпуса прибора.

Сборка макета прибора.

Испытания макета и доработка схемы прибора.

Изготовление корпуса прибора.

Сборка и монтаж прибора в корпусе.

Разработка эксплуатационной документации на прибор.

Сдача прибора заказчику.

7. На рис. 3.16 показаны фрагменты сетевых моделей в терминах "работы-связи". Требуется представить их в терминах "события-операции".

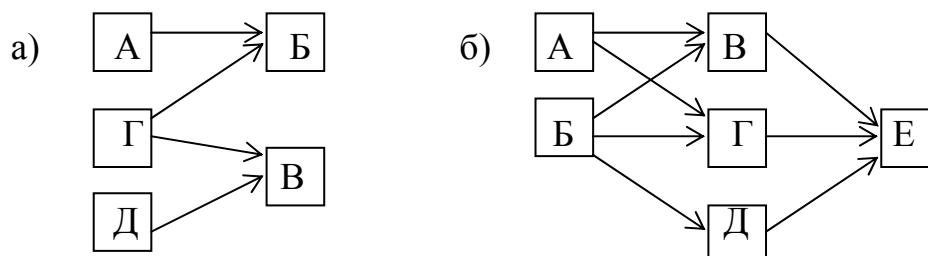


Рис. 3.16. Фрагменты сетевых моделей в терминах «работы-связи»

8. На рис. 3.17 показана сетевая модель комплекса работ. Около работ проставлены продолжительности их выполнения. Требуется рассчитать ранние и поздние сроки свершения событий методом Форда (табличным), резервы событий, найти критический путь, рассчитать все параметры работ и свести их в таблицу.

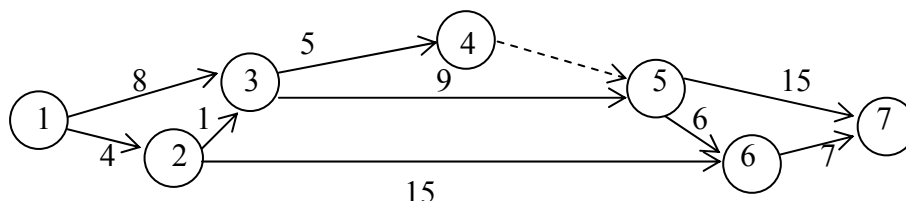


Рис. 3.17. Исходная сетевая модель для расчетов

9. Придумайте самостоятельно сетевую модель, отвечающую всем необходимым требованиям, с параметрами:

а) $n = 6, k = 8$;

б) $n = 7, k = 11$;

и задайте на ней продолжительности работ. Выполните расчеты всех временных характеристик; результаты сведите в таблицы. Найдите и укажите на сети критический путь.

10. На рис. 3.18 показана сетевая модель проекта, продолжительности выполнения работ которого – случайные величины, заданные трехоценочным способом в табл. 3.8.

Требуется определить, к какому сроку будет завершён проект с вероятностями: а) 35 %, б) 50 %, в) 84 %, г) 96,5 %; какова вероятность завершения проекта к срокам: а) 80,5; б) 79,0; в) 83,5.

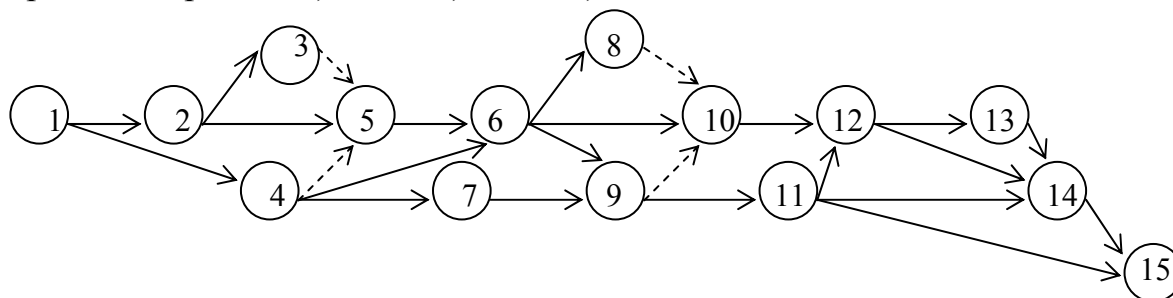


Рис. 3.18. Исходная сетевая модель для расчетов к задаче 10

Таблица 3.8

Код работы	Оценки длительности работы			Код работы	Оценки длительности работы		
	a_{ij}	m_{ij}	b_{ij}		a_{ij}	m_{ij}	b_{ij}
1-2	1	2	6	7-9	3	5	7
1-4	1	2	3	9-11	10	18	20
2-3	8	10	12	10-12	4	6	9
2-5	3	4	9	11-12	6	8	10
4-6	4	5	8	11-14	2	3	4
4-7	4	5	8	11-15	19	21	23
5-6	1	2	5	12-13	3	5	9

6-8	4	7	9	12-14	1	2	3
6-9	15	21	24	13-14	5	6	9
6-10	6	10	14	14-15	8	10	12

11. Придумайте самостоятельно стохастическую сетевую модель, отвечающую всем необходимым требованиям, с параметрами:

а) $n = 16$, $k = 25$;

б) $n = 18$, $k = 28$

и задайте оценки продолжительностей работ. Выполните расчет ранних сроков. Найдите и укажите на сети критический путь. Определите, к какому сроку проект будет завершен с вероятностью: а) 5 %, б) 67 %, в) 98 %. Задайте плановый срок и определите вероятность, с которой проект будет завершен к этому сроку.

Тема 4. ПОТОКИ В СЕТЯХ. ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТОВ

До сих пор речь шла только о сетевых моделях комплексов работ. В действительности же управление проектами – это далеко не единственная область практического применения теории графов. Широкое распространение для решения ряда задач получила *потоковая интерпретация* графов.

Потоковая постановка задач на графах имеет и самостоятельное значение, например, в логистике. Но в то же время она используется при решении одной из наиболее значимых задач управления проектами – задачи оптимизации (минимизации) затрат на проект. Их рассмотрению и посвящается этот раздел.

4.1. Потоковая интерпретация графа; постановка задачи о максимальном потоке в сети

Пусть дан ориентированный связный граф без циклов $G(N, A)$. Зададим на нем некоторую функцию C таким образом, что каждой дуге графа $(ij) \in A$ поставим в соответствие некоторое неотрицательное число c_{ij} . Назовем дуги графа отрезками транспортного пути, а вершины – транспортными узлами. Числа c_{ij} назовем пропускными способностями транспортных дуг. Граф в целом тогда будет представлять собой транспортную сеть.

Рассмотрим только однопродуктовые модели транспортной сети. Тогда пропускная способность дуги – это максимально допустимая величина транспортного потока по этой дуге в единицу времени.

Назовем единственный начальный узел транспортной сети *источником* (s), а единственный конечный узел – *стоком* (τ). Тогда *потоком* из источника s в сток τ будем называть множество неотрицательных чисел f_{ij} , каждое из которых соответствует дуге $(ij) \in A$, если они удовлетворяют следующим условиям (ограничениям):

$$\begin{cases} \sum_{i \in N} f_{ij} - \sum_{k \in N} f_{jk} = \begin{cases} 0, & \text{если } j \neq s, \tau \\ V, & \text{если } j = \tau \\ -V, & \text{если } j = s \end{cases} \\ 0 \leq f_{ij} \leq c_{ij} \\ V \geq 0 \end{cases}$$

Числа f_{ij} называются дуговыми потоками, а число V – суммарным потоком через сеть.

Первое ограничение требует того, чтобы в каждый транспортный узел входило столько потока, сколько из него выходит. Для стока τ множество вы-

ходящих дуговых потоков пусто, а весь входящий суммарный поток величиной V поглощается этим узлом. Для источника s , наоборот, множество входящих пусто, а суммарный поток величиной V генерируется этим узлом.

Поток, удовлетворяющий записанным выше условиям, – это допустимый поток через сеть. Среди допустимых можно найти поток (потоки) максимальной величины. Для этого следует добавить к ограничениям целевую функцию $V \rightarrow \max$. В результате получим оптимизационную задачу, которая относится к классу задач линейного программирования и носит название «задача о максимальном потоке в сети». Для определения подходов к ее решению введем еще ряд определений.

Разобьем произвольным образом множество узлов сети на два подмножества X и $\bar{X}$ так, что: $X \cup \bar{X} = N$. Разрезом в сети называется множество дуг $(ij) \in A$, у которых либо $i \in X$, а $j \in \bar{X}$, либо $j \in X$, а $i \in \bar{X}$. Разрез называется *разделяющим*, если источник $s \in X$, а сток $t \in \bar{X}$.

Величиной разреза, или его пропускной способностью называется число $C(X, \bar{X}) = \sum_{i \in X, j \in \bar{X}} c_{ij}$. Обратите внимание, что суммирование здесь идет только по прямым дугам, т. е. дугам, ведущим от источника к стоку.

Разделяющий разрез $(X, \bar{X})$ является аналогом узкого места в транспортной сети. Благодаря записанным выше ограничениям поток в сети никогда не превышает величины любого из разделяющих разрезов данной сети, т. е.

$$V \leq C(X, \bar{X})$$

ТЕОРЕМА. В любой сети величина максимального потока из s в t равна пропускной способности минимального разреза, разделяющего s и t .

4.2. Алгоритм решения задачи о максимальном потоке

Задачу о максимальном потоке можно решать методом целочисленного линейного программирования. Однако существует более простой и эффективный метод, использующий особенности сетевой постановки задачи, – метод расстановки меток. Метод итерационный, каждая итерация включает два шага.

Шаг 1. Исходя из имеющегося допустимого потока производится расстановка пометок всех узлов и тем самым отыскивается путь, по которому можно увеличить исходный поток, не нарушая его допустимости. После этого определяется величина приращения потока.

Шаг 2. Имеющийся поток увеличивается по найденному пути на определённую величину.

Основу алгоритма составляет процедура метчения. Рассмотрим ее подробнее.

Метка узла j имеет следующую структуру: $[i; \pm; \varepsilon(j)]$, где

i – номер узла, из которого помечен j (причем это не обязательно предок, может быть и потомок),

$\pm$ – направление мечения («+», когда i – предок, j – потомок; «–», когда i – потомок, j – предок),

$\varepsilon(j)$ – возможное приращение потока от источника s до узла j , не нарушающее ограничений задачи; определяется так:

если «+», т.е. существует дуга $(ij) \in A$, то $\varepsilon(j) = \min\{c_{ij} - f_{ij}; \varepsilon(i)\}$,

если «–», т.е. существует дуга $(ji) \in A$, то $\varepsilon(j) = \min\{f_{ji}; \varepsilon(i)\}$.

Каждый узел сети может находиться в одном из трёх состояний:

- 1) не помечен, не просмотрен,
- 2) помечен, но не просмотрен,
- 3) помечен, просмотрен.

На каждой итерации мечение начинается с положения, когда все узлы не помечены и не просмотрены, кроме первого. Узел s всегда помечен. Его метка $[*, *, \infty]$, т. е. это источник потока бесконечной величины. Расстановка пометок производится строго в соответствии с порядком нумерации узлов сети. Для первого узла (очередного помеченного узла i) просматриваются все непомеченные узлы, связанные с ним дугами $(ij) \in A$ или $(ji) \in A$.

Узел j может быть помечен из узла i , если узел i помечен; существует дуга $(ij) \in A$ и $c_{ij} > f_{ij}$ или существует дуга $(ji) \in A$ и $f_{ji} > 0$. Ранее уже было рассмотрено, как определять в этих случаях все элементы метки.

После того, как все «соседи» узла i просмотрены и по возможности помечены, узел i приобретает статус «помечен и просмотрен», а процедура продолжается для помеченных, но еще не просмотренных узлов. Процесс мечения на данной итерации завершается, когда оказывается помеченным сток t .

Величина $\varepsilon(t)$ определяет приращение потока через сеть на данной итерации – ΔV , а путь, по которому проводится дополнительный поток, отыскиваем следующим образом. Начиная с последнего узла t , просматриваем метки: если t помечен из j , ищем, откуда помечен j . Пусть он помечен из i , тогда ищем далее, откуда помечен i , и так продолжаем до прихода в источник s .

Для получения нового потока существующие значения дуговых потоков по выбранному пути увеличиваются на ΔV , если дуга была пройдена в прямом направлении, или уменьшаются на ΔV , если – в обратном. Обратите внимание, что увеличение потока на данной итерации происходит только по единственному полному пути, иначе допустимость нового потока окажется нарушенной.

Начинать решение задачи можно с любого допустимого потока, в том числе с нулевого, так как он всегда допустим. Критерием окончания служит невозможность мечения узла t . При этом множество помеченных узлов представляет собой множество X , непомеченных – $\bar{X}$, что определяет минимальный разрез. Отметим, что в окончательном решении все прямые дуги минимального разреза насыщены, т. е. $c_{ij} = f_{ij}$, а все обратные – несут нулевые потоки.

Пример

Требуется отыскать максимальный поток и минимальный разрез в сети, представленной на рис. 4.1. Пропускные способности указаны рядом с дугами. Исходный (ненулевой) поток задан: $f_{12}=1, f_{23}=1, f_{34}=1, f_{45}=1, f_{56}=1$.

Решение задачи показано на рис. 4.2, 4.3 и в таблице 4.1.

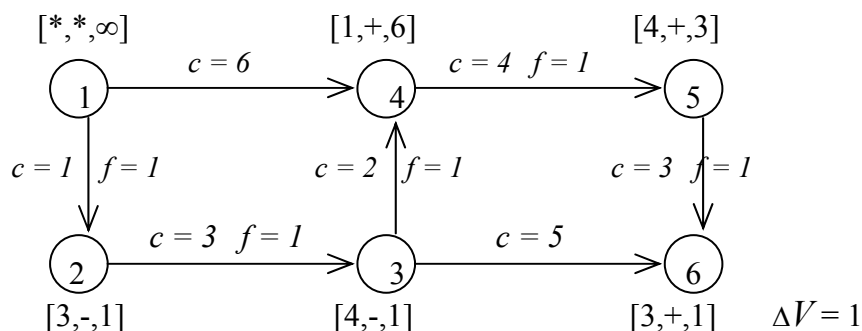


Рис. 4.1. Сетевая модель транспортной сети в исходном состоянии; показана первая расстановка пометок

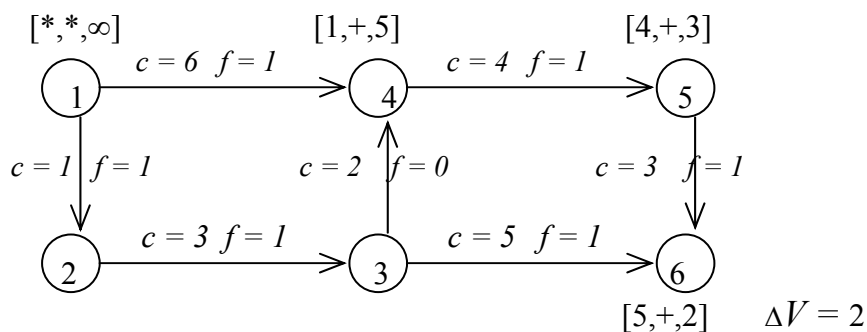


Рис. 4.2. Сетевая модель после первого увеличения потока и второй расстановки пометок

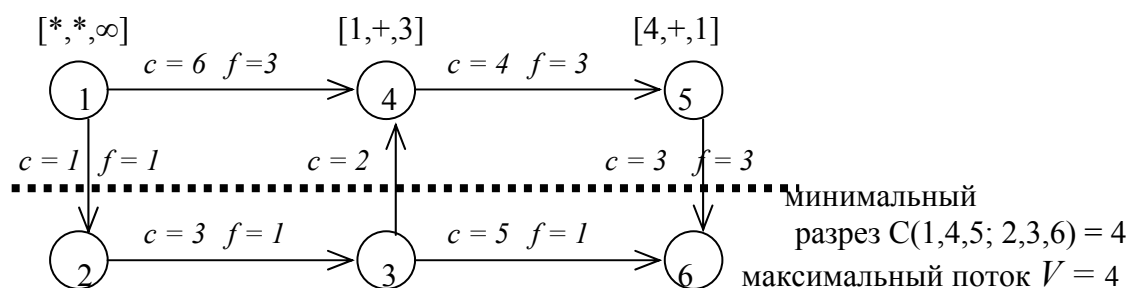


Рис. 4.3. Сетевая модель с показанным на ней окончательным решением задачи; последний узел на этой итерации остался непомечен

Таблица 4.1

Узлы сети	И т е р а ц и и		
	1	2	3

1	[*,*,∞]	[*,*,∞]	[*,*,∞]
2	[3,-,1]	—	—
3	[4,-,1]	—	—
4	[1,+,6]	[1,+,5]	[1,+,3]
5	[4,+,3]	[4,+,3]	[4,+,1]
6	[3,+,1]	[5,+,2]	—
ΔV	1	2	0
V	1+1=2	2+2=4	
f_{12}	1	1	
f_{14}	0+1=1	1+2=3	
f_{23}	1	1	
f_{34}	1-1=0	0	
f_{36}	0+1=1	1	
f_{45}	1	1+2=3	
f_{56}	1	1+2=3	

Окончательное решение задачи – в колонке предпоследней итерации.

4.3. Постановка задачи минимизации затрат на проект

До сих пор рассматривались сетевые модели комплексов работ, в которых подлежал контролю лишь один параметр – время. Очевидно, что это существенно обедняло процесс управления проектами. Для устранения этого недостатка введем в рассмотрение второй параметр – стоимость выполнения работ, а на сети поставим задачу минимизации затрат на проект.

Пусть дан граф $G(N,A)$, представляющий собой сетевую модель комплекса работ. Поставим в соответствие каждой работе сети два параметра:

- 1) продолжительность выполнения – t_{ij} ,
- 2) затраты на выполнение – p_{ij} .

Очевидно, что затраты находятся в обратной зависимости от продолжительности, т. е. чем раньше надо закончить работу, тем больше средств (исполнители, оборудование и пр.) придется в нее вложить. Эта зависимость имеет сложный характер, и для упрощения решения задачи ее надо аппроксимировать прямой, график которой представлен на рис. 4.4.

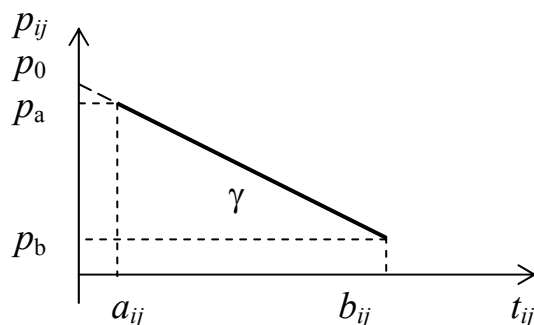


Рис. 4.4. График зависимости затрат на работу от ее продолжительности

Здесь b_{ij} – нормальная продолжительность работы, a_{ij} – ускоренная продолжительность работы, p_b – затраты при нормальной продолжительности, p_a – затраты при ускоренной продолжительности,

$$a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij}.$$

Угол наклона прямой (без учета знака) характеризует интенсивность нарастания затрат, т. е. приращение затрат, необходимое для сокращения длительности работы на единицу: $\operatorname{tg} \gamma = c_{ij} = (p_a - p_b)/(b_{ij} - a_{ij})$.

Приращение затрат – величина обратной эффективности вложения средств в сокращение длительности работы: $\varepsilon_{ij} = 1/c_{ij}$. Другими словами, вложение дополнительных средств наиболее эффективно в те работы, которые имеют минимальные значения «угловых коэффициентов» c_{ij} .

Затраты на выполнение работы в общем случае определяются по формуле

$$p_{ij} = p_0 - c_{ij} t_{ij},$$

где p_0 – условная точка пересечения прямой затрат с осью ординат.

Суммарные затраты на выполнение всего проекта, которые следует минимизировать, тогда могут быть определены следующим образом:

$$P_{\Sigma} = \sum_{(ij) \in A} p_{ij} = P_0 - \sum_{(ij) \in A} c_{ij} t_{ij} \Rightarrow \min,$$

где P_0 – суммарные условные затраты (константа для данного проекта).

Задача минимизации затрат на проект – это оптимизационная задача, которая ставится как задача параметрического линейного программирования:

$$\sum_{(ij) \in A} c_{ij} t_{ij} \Rightarrow \max$$

$$\begin{cases} t_{pj} \leq t_{pi} + t_{ij} \\ a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij} \\ T_{кр} = t_{p\tau} \geq 0 \end{cases}$$

Для ряда допустимых значений продолжительности критического пути, как параметра, требуется найти наборы значений переменных t_{pj} и t_{ij} , минимизирующие затраты на выполнение проекта. Графически оптимальное решение имеет вид кривой, ограничивающей снизу область допустимых решений задачи. Это «кривая затрат на проект» (см. рис. 4.5).

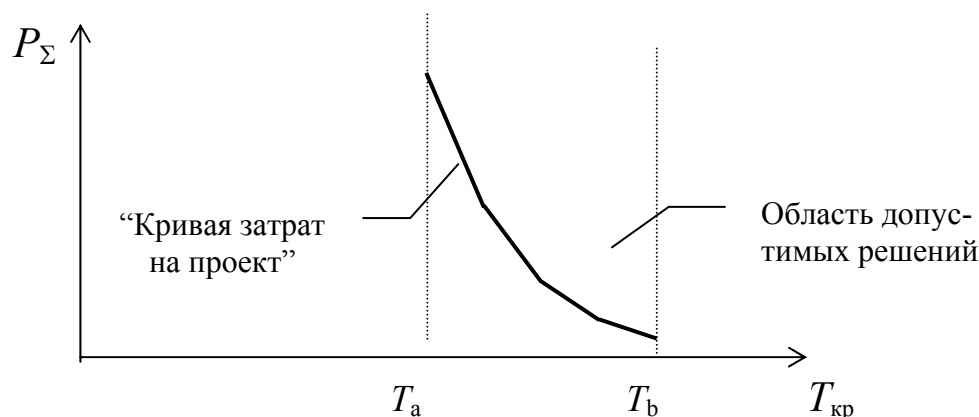


Рис. 4.5. Графическая интерпретация решения задачи

Прямая постановка задачи на практике звучит так: в какие работы нужно вложить дополнительные средства и насколько их следует сократить, чтобы проект был завершён к заданному сроку, а суммарные вложения были бы при этом минимальны.

Обратная постановка задачи: как распределить между работами ограниченные дополнительные инвестиции, чтобы достичь максимального сокращения срока завершения проекта.

Решение задачи возможно методами линейного программирования, но существует более быстрый и эффективный алгоритм, использующий сетевую постановку задачи. Это алгоритм Форда–Фалкерсона.

Интересно, что поставленная задача имеет тривиальное решение. Действительно, для сокращения срока выполнения проекта необходимо вкладывать средства исключительно в критические работы, предварительно проранжировав их в порядке возрастания угловых коэффициентов. Однако на практике тривиальные решения встречаются не так уж часто. И при решении этой задачи может случиться, что в результате сокращения критического пути в сети появятся новые второй, третий и т. д. критические пути и использование описанного выше примитивного алгоритма окажется чрезвычайно затруднительным. Именно на такие сложные случаи рассчитан алгоритм Форда–Фалкерсона.

4.4. Алгоритм решения задачи минимизации затрат на проект

Алгоритм построен на одновременном решении прямой и двойственной задач линейного программирования: прямая задача решается в терминах времён, а двойственная – в терминах потоков, при этом пропускные способности дуг принимаются равными угловым коэффициентам соответствующих работ.

Алгоритм итерационный. На каждой итерации решается задача о максимальном потоке по критическому пути (путям) сети. По итогам такого решения работы, вошедшие в минимальный разрез, могут либо быть сокращены, либо сокращаются их резервы, если таковые существуют. Сокращается соответственно и срок завершения комплекса работ, возрастают затраты на проект. Таким образом появляется новая точка на оптимальной кривой затрат на проект.

Особенность реализации алгоритма состоит в том, что количество дуг в сети удваивается и, чтобы различать их, вводится новый индекс k , принимающий значения 1 или 2. Соответственно метка получает четвёртую составляющую: $k = \{1, 2\}$. Первая дуга соответствует любой продолжительности работы, кроме минимальной: $a_{ij} < t_{ij} \leq b_{ij}$. Для неё характерен угловой коэффициент $c_{ij1} = c_{ij}$. Вторая дуга допустима, только если $t_{ij} = a_{ij}$, при этом $c_{ij2} = \infty$. Вводится дополнительное условие мечения: узел j может быть помечен из узла i , если дуга $(ijk) \in A$ принадлежит дереву максимальных путей из источника s до узла j , т. е. $R_{q2\ ij} = t_{pj} - t_{pi} - t_{ij} = 0$.

В качестве исходного на первой итерации принимается нулевой поток. Расчет начинается с $t_{ij} = b_{ij}$. Критерием окончания вычислений является прохождение по сети бесконечного потока. Это означает, что критический путь или пути состоят только из вторых дуг с $t_{ij} = a_{ij}$ и $c_{ij2} = \infty$, т. е. предел сокращения достигнут.

Пример

На рис. 4.6 приведена сетевая модель для решения задачи минимизации затрат на проект. Число дуг в ней уже удвоено. Исходные данные задачи приведены в табл. 4.2.

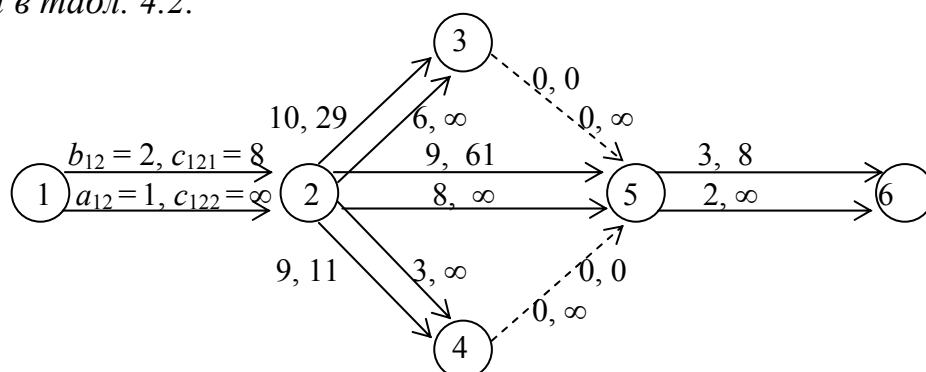


Рис. 4.6. Исходная сетевая модель для минимизации затрат на проект

Таблица 4.2

№ п/п	Начальное событие	Конечное событие	Нормальная длительность	Ускоренная длительность	Нормальная стоимость	Стоимость при ускоренной длительности	Угловой коэффициент
1	1	2	2	1	23	31	8
2	2	3	10	6	7	123	29
3	2	4	9	3	51	107	11
4	2	5	9	8	10	71	61
5	3	5	0	0	0	0	0
6	4	5	0	0	0	0	0
7	5	6	3	2	6	14	8

Решение начинается с расчета ранних сроков свершения событий (табл. 4.3) и частных резервов второго рода для всех работ (табл. 4.4). Здесь следует помнить, что исходной является нормальная длительность всех работ.

Таблица 4.3

Событие	1	2	3	4	5	6
Ранний срок свершения	0	2	12	11	12	15

Таблица 4.4

Работа	1-2	2-3	2-4	2-5	3-5	4-5	5-6
Резерв при $\kappa=1$	0	0	0	1	0	1	0
Резерв при $\kappa=2$	1	4	6	2	0	1	1

Как видно, критический путь составляют работы нормальной длительности ($\kappa=1$): 1-2, 2-3, 3-5, 5-6, $T_{кр}=15$, а к дереву максимальных путей относятся все работы ($\kappa=1$), кроме 2-5 и 4-5, и работа 3-5 ($\kappa=2$).

Далее расставим метки, следуя по работам дерева максимальных путей и исходя из начального нулевого потока (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Событие	1	2	3	4	5	6
Первичная метка	$[\ast, \ast, \ast, \infty]$	$[1, +, 1, 8]$	$[2, +, 1, 8]$	$[2, +, 1, 8]$	$[3, +, 2, 8]$	$[5, +, 1, 8]$
Повторная метка	$[\ast, \ast, \ast, \infty]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$

Из таблицы видно, что на первой итерации поток увеличится на 8 единиц по единственному критическому пути и составит: $f_{121} = f_{231} = f_{352} = f_{561} = 8$. Чтобы убедиться, максимален ли этот поток для первой итерации, повторим процедуру расстановки меток (табл. 4.5). Она показывает, что увеличение потока невозможно, так как дуга 1-2(1) насыщена, а дуга 1-2(2) недопустима для мечения ($R_{122} \neq 0$); в минимальный разрез входят дуги: 1-2(1) и 1-2(2).

Далее следует произвести сокращение длительностей работ, для чего:

- 1) отыскивается величина сокращения δ , как наименьшее ненулевое значение R_{ijk} (табл.4.4) для работ минимального разреза; здесь $\delta=1$;
- 2) ранние сроки всех непомеченных событий сокращаются на δ ; здесь это события $\{2,3,4,5,6\}$;
- 3) критический путь также сокращается на δ ; здесь $T_{кр} = 15 - 1 = 14$;
- 4) длительности работ пересчитываются из условия $t_{ij} = \min\{t_{ij}; t_{pj} - t_{pi}\}$; практически изменения могут коснуться только работ минимального разреза; здесь $t_{12} = \min\{2; 1 - 0\} = 1 = a_{12}$.

Сокращение длительностей работ сопровождается приращением затрат на их выполнение, которое следует также отыскать. Поскольку сокращенной оказалась лишь одна работа, $\Delta P^{(1)} = \Delta t_{12} c_{121} = 1 \times 8 = 8$.

Аналогичным образом выполняются все остальные итерации, а ход решения задачи отражается в пяти таблицах (табл. 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10).

Отметим еще одну особенность процесса решения этой задачи. Если пометить событие или увеличить поток к нему можно и по первой и по второй дуге, то такое мечение или увеличение потока выполняется только по второй дуге.

Таблица 4.6

Событие	Ранние сроки событий по итерациям				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	2	1	1	1	1
3	12	11	11	10	9
4	11	10	10	10	9
5	12	11	11	10	9
6	15	14	13	12	11

Таблица 4.7

Работа	Резервы работ по итерациям									
	1		2		3		4		5	
	$\kappa=1$	$\kappa=2$	$\kappa=1$	$\kappa=2$	$\kappa=1$	$\kappa=2$	$\kappa=1$	$\kappa=2$	$\kappa=1$	$\kappa=2$
1-2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2-3	0	4	0	4	0	4	0	3	0	2
2-4	0	6	0	6	0	6	0	6	0	5
2-5	1	2	1	2	1	2	0	1	0	0

3-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-5	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
5-6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0

Таблица 4.8

Собы- тие	Метки событий по итерациям									
	1		2		3		4			5
1	*,*,*,∞	*,*,*,∞	*,*,*,∞	*,*,*,∞	*,*,*,∞	*,*,*,∞	*,*,*,∞	*,*,*,∞	*,*,*,∞	*,*,*,∞
2	1,+,1,8	–	1,+,2,∞	1,+,2,∞	1,+,2,∞	1,+,2,∞	1,+,2,∞	1,+,2,∞	1,+,2,∞	1,+,2,∞
3	2,+,1,8	–	2,+,1,21	2,+,1,21	–	–	–	–	–	–
4	2,+,1,8	–	2,+,1,11	2,+,1,11	2,+,1,11	2,+,1,11	2,+,1,11	–	–	–
5	3,+,2,8	–	3,+,2,21	3,+,2,21	–	2,+,1,61	4,+,2,11	–	2,+,2,∞	–
6	5,+,1,8	–	–	5,+,2,21	–	5,+,2,61	5,+,2,11	–	5,+,2,∞	–
ΔV	8		0	21		61	11			
V	0+8=8		8	29		90	101			
δ		1	1		1			1		
$T_{кр}$		15–1=14	13		12			11		
ΔP_{Σ}		8	8		29			101		
P_{Σ}		97+8=105	113		142			243		

Особый интерес представляют вторая и четвертая итерации. Вторая отличается тем, что в результате ее выполнения поток не увеличился, и повторное мечение не потребовалось. На четвертой итерации, наоборот, поток возрос дважды по двум критическим путям, что нашло отражение и в таблице меток (табл. 4.8), и в таблице дуговых потоков (табл. 4.9). На пятой итерации поток бесконечной величины прошел от начального события до завершающего, что свидетельствует о завершении вычислений. В результате по данным табл. 4.8 построена “кривая затрат на проект” (рис. 4.7).

Таблица 4.9

Работа	Дуговые потоки по итерациям											
	исходные		после 1-й		после 2-й		после 3-й		в ходе 4-й		после 4-й	
	к=1	к=2	к=1	к=2	к=1	к=2	к=1	к=2	к=1	к=2	к=1	к=2
1-2	0	0	8	0	8	0	8	21	8	82	8	93
2-3	0	0	8	0	8	0	29	0	29	0	29	0
2-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
2-5	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	61	0
3-5	0	0	0	8	0	8	0	29	0	29	0	29
4-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
5-6	0	0	8	0	8	0	8	21	8	82	8	93

Таблица 4.10

Работа	Длительности работ по итерациям				
	исходные	после 1-й	после 2-й	после 3-й	после 4-й
1-2	2	1	1	1	1
2-3	10	10	10	9	8
2-4	9	9	9	9	8
2-5	9	9	9	9	8
3-5	0	0	0	0	0

4-5	0	0	0	0	0
5-6	3	3	2	2	2

Полученное решение задачи свидетельствует о том, что не все работы проекта необходимо максимально сокращать для получения оптимального результата. И чем меньше дополнительные ресурсы, вкладываемые в проект, тем короче перечень работ, в которые их следует вкладывать.

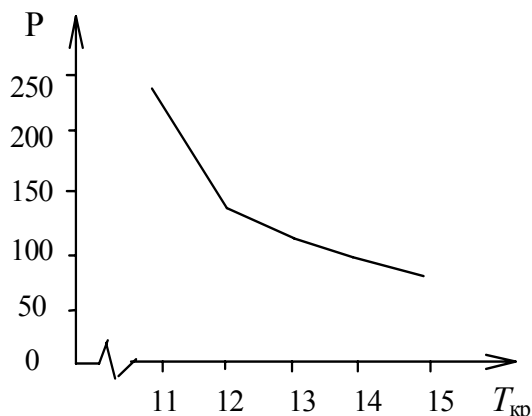


Рис. 4.7. График оптимального вложения средств в проект

4.5. Задачи для самоконтроля

1. На рис. 4.8 показана модель транспортной сети. Около дуг проставлены их пропускные способности. Требуется найти величину максимального потока груза, который можно пропустить по сети, и указать минимальный разрез, лимитирующий увеличение потока. Начальный поток задан: $f_{14} = f_{45} = f_{56} = 5$.

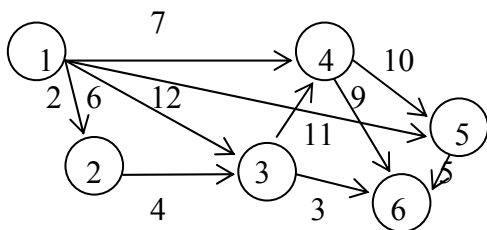


Рис. 4.8. Исходная модель транспортной сети к задаче 1

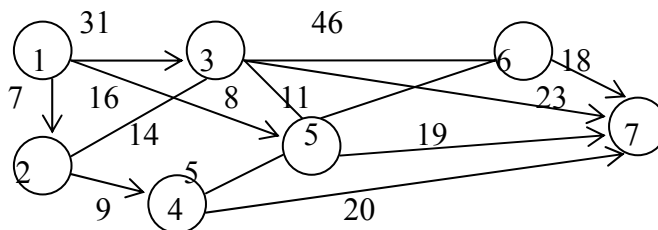


Рис. 4.9. Исходная модель транспортной сети к задаче 2

2. Решить предыдущую задачу с исходными данными, приведенными на рис. 4.9. В качестве исходного принять нулевой поток.

3. Решить задачу 1 с исходными данными, приведенными на рис. 4.10. В качестве исходного принять поток: $f_{12} = f_{23} = f_{34} = f_{45} = 2$.

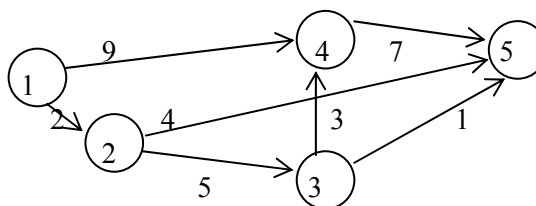


Рис. 4.10. Исходная модель транспортной сети к задаче 3

4. Составьте задачу размерностью $n = 8$, $k = 16$ самостоятельно и решите ее. Учтите, что распределение дуговых потоков в окончательном решении задачи может быть неоднозначным.

5. Исходные данные для решения задачи оптимизации затрат на проект представлены в табл. 4.11÷4.14. Решить задачи и построить «кривую затрат на проект». Стоимости выполнения работ при нормальной длительности считать равными нулю.

Таблица 4.11

№ п/п	Начальное событие	Конечное событие	Нормальная длительность	Ускоренная длительность	Стоимость при ускоренной длительности
1	1	2	3	2	8
2	1	3	5	1	28
3	2	3	9	1	40
4	3	4	2	1	8

Таблица 4.12

№ п/п	Начальное событие	Конечное событие	Нормальная длительность	Ускоренная длительность	Стоимость при ускоренной длительности
1	1	2	6	5	45
2	1	3	6	2	124
3	2	3	0	0	0
4	3	4	4	2	20
5	3	5	9	5	192
6	4	5	3	1	32
7	5	6	8	7	48

Таблица 4.13

№ п/п	Начальное событие	Конечное событие	Нормальная длительность	Ускоренная длительность	Стоимость при ускоренной длительности
1	1	2	8	4	136
2	1	3	7	3	48
3	2	3	0	0	0
4	1	4	8	6	6
5	3	5	12	4	320
6	4	5	8	5	9

Таблица 4.14

№ п/п	Начальное событие	Конечное событие	Нормальная длительность	Ускоренная длительность	Стоимость при ускоренной длительности
1	1	2	8	4	128
2	1	3	7	5	24
3	1	4	5	3	20
4	2	4	0	0	0
5	3	4	3	1	6
6	3	5	11	10	8
7	4	5	12	9	24

9. Построить «кривую затрат на проект» по данным табл. 4.15 – 4.16.

Таблица 4.15

№ п/п	Началь- ное со- бытие	Конеч- ное со- бытие	Нормаль- ная дли- тельность	Ускорен- ная дли- тельность	Нормаль- ная стои- мость	Стоимость при ускоренной длительности
1	1	2	5	2	42	45
2	1	5	7	4	27	30
3	2	3	4	2	17	21
4	2	4	4	1	38	41
5	2	5	5	2	10	25
6	3	5	0	0	0	0
7	4	5	0	0	0	0
8	5	6	6	4	35	39
9	6	7	7	3	11	19

Таблица 4.16

№ п/п	Началь- ное со- бытие	Конеч- ное со- бытие	Нормаль- ная дли- тельность	Ускорен- ная дли- тельность	Нормаль- ная стои- мость	Стоимость при ускоренной длительности
1	1	2	6	3	12	48
2	1	3	4	1	7	79
3	1	4	3	2	19	31
4	1	5	8	3	57	252
5	2	3	0	0	0	0
6	3	6	10	5	56	376
7	4	5	0	0	0	0
8	5	6	11	8	105	312
9	6	7	12	10	71	273
10	7	8	30	20	251	1261

Тема 5. СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА *WinQSB*

5.1. Общая характеристика пакета *WinQSB* и программной группы PERT/CPM

Ручной расчет характеристик сетевых моделей реальных проектов очень трудоемок. Для автоматизации этих расчетов используются программные средства, ориентированные на возможности персональных компьютеров. *WinQSB* (*Quantitative Systems for Business*) – "Количественные системы для бизнеса" – наиболее крупная и известная в мире коллекция запрограммированных математических методов решения управленческих задач.

Перечисленные ниже программы, входящие в пакет *WinQSB*, дают представление о круге этих задач:

- Линейное и целочисленное программирование.
- Нелинейное и квадратичное программирование.
- Динамическое программирование.
- Сетевое моделирование.
- Сетевое планирование (PERT/CPM).
- Имитационное моделирование систем массового обслуживания.
- Марковские процессы.
- Анализ решений.
- Прогнозирование и линейная регрессия.
- Агрегатное планирование.
- Управление запасами.
- Планировка и размещение оборудования.
- Планирование потребности в материалах, деталях, узлах.
- Календарное планирование работ.
- Статистический анализ качества.

Некоторые модули *WinQSB* объединяют сразу несколько программ, позволяющих решать родственные задачи (например, модуль сетевого планирования). Кроме того, пакет *WinQSB* очень удобен для решения задач оптимизации, поскольку предоставляет широкие возможности для послеоптимизационного анализа и параметрического программирования.

Как видим, этот программный пакет предназначен для решения большого числа задач производственного менеджмента, и в том числе – задач сетевого анализа.

Для запуска любой из указанных выше программ достаточно нажатием кнопки ВВОД (*ENTER*) выбрать программную группу *WinQSB* и в ней – имя нужной программы.

При выборе программной группы PERT/CPM, а затем опции "Создать новую задачу" (*New problem*) в меню "*File*" станет доступным окно для ввода следующей исходной информации:

- название конкретной задачи (*Problem Title*),
- число работ (*Number of Activities*),
- тип задачи (*Problem Type*): CPM или PERT,
- форма ввода данных (*Data Entry Form*): табличная или графическая.

При выборе типа задачи – CPM – потребуется выбрать далее перечень задаваемых характеристик работ (*Select CPM data Field*):

- нормальное или ускоренное время выполнения (*Normal or Crash Time*),
- стоимость при нормальной или ускоренной продолжительности (*Normal or Crash Cost*),
- фактическую стоимость (*Actual Cost*),
- процент готовности (*Percent Complete*).

Для расчета всех временных характеристик проекта достаточно ввода нормальной продолжительности работ; для решения задачи минимизации затрат на проект требуются ускоренное время и стоимость работ. Последние два параметра работ из полного списка используются для анализа фактического состояния проекта.

При выборе типа задачи – PERT – потребуется выбрать далее способ задания длительности работы, как случайной величины (*Choose Activity Distribution*). По умолчанию программой предлагается трехоценочная система задания.

ОСОБЕННОСТЬЮ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПАКЕТЕ АЛГОРИТМОВ СЕТЕВОГО АНАЛИЗА ЯВЛЯЕТСЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ В ТЕРМИНАХ "РАБОТЫ-СВЯЗИ".

Задание сетевой модели возможно двумя путями: в матричной форме и в виде графической модели. По умолчанию ввод выполняется в матричной форме. Можно переключиться на ввод графической модели, используя соответствующую опцию в меню формата (*Format*).

5.2. Программное решение задачи CPM

Матричная форма представляет исходные данные задачи типа CPM в виде таблицы, где каждой работе соответствует одна строка. Строка содержит номер и название работы (*Activity Number/Name*), список непосредственно предшествующих работ (*Immediate Predecessor*), разделенных запятыми (*Separated by ','*), и все характеристики работы, выбранные ранее.

Используя меню редактирования (*Edit*) или инструментальную панель (пиктограммы), можно вырезать, копировать, очистить, или вставить выбранную область в электронной таблице, установить числовой формат, шрифт, вы-

равнивание, высоту строки, и ширину столбца для матрицы. Используя меню редактирования, можно также изменить (заменить) название задачи, число работ, и добавить или удалить связи между ними.

Графическая форма позволяет проще задать исходную модель. При этом можно использовать следующие подсказки, чтобы управлять формированием и редактированием проекта:

- а) использовать команду '*Activity*' в меню редактирования, чтобы создать шаблон работы; затем выбрать работу, щелкнув кнопкой "мыши" на ее имени на шаблоне. После этого можно ввести или изменить (заменить) имя работы, местоположение работы, и/или другую информацию о ней, и нажать кнопку ОК. Для удаления работы следует нажать кнопку '*Remove*';
- б) использовать команду '*Connection*' в меню редактирования, чтобы создать шаблон связи; затем выбрать связь, щелкая кнопкой "мыши" на именах работ, которые надо связать, из перечней работ на шаблоне и нажать кнопку ОК. Также можно удалить связь, нажимая кнопку '*Remove*';
- с) использовать "мышь" следующим образом:
 - сделать двойной щелчок левой кнопкой "мыши" на незаполненной ячейке, чтобы нарисовать следующую работу,
 - нажать левую кнопку "мыши" на имеющейся работе и держа ее двигаться к другой работе, чтобы создать связь,
 - нажать правую кнопку "мыши" на имеющейся работе и держа ее двигаться в другую пустую ячейку, чтобы переместить работу в новое место.

Обратите внимание, что можно ввести нормальную и/или ускоренную продолжительность работы для детерминированного проекта, распределение вероятности для вероятностного проекта, однако, только нормальное время (для детерминированного проекта) или среднее время (для вероятностного проекта) показываются на узле в случае графического представления сети.

Созданную модель обязательно нужно сохранить обычным порядком, используя соответствующую опцию меню '*File*'. Затем в меню "Решение и анализ" (*Solve and Analyze*) выбрать опцию "Решить задачу CPM, используя нормальную длительность работ" (*Solve Critical Path Using Normal Time*). В появившемся окне будут доступны результаты расчета (*Activity Analysis for *** Using Normal Time*) в виде таблицы работ, содержащей следующую информацию:

- принадлежит работа критическому пути или нет (*On Critical Path*),
- нормальная продолжительность работы (*Activity Time*),
- раннее начало и окончание работы (*Earliest Start/Finish*),
- позднее начало и окончание работы (*Latest Start/Finish*),
- полный резерв работы (*Slack*).

Внизу таблицы выводится информация о продолжительности и числе критических путей.

В меню результатов (*Results*) можно выбрать желаемую форму представления этих результатов. Например, в виде сетевой модели "работы-связи", где работы представляются кружками следующей структуры:

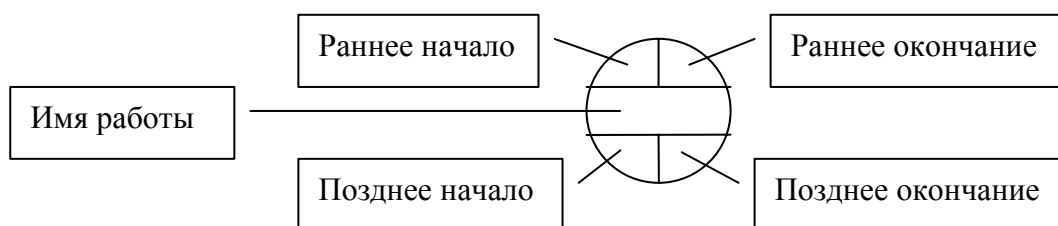


Рис. 5.1. Форма представления результирующей информации о работе

Или представить результаты в виде графика Ганта (*Gantt Chart*).

5.3. Программное решение задачи минимизации затрат на проект

Если, решая задачу CPM, в меню '*Solve and Analyze*' выбрать опцию "Решение задачи минимизации затрат на проект" (*Perform Crashing Analysis*), то откроется новое окно '*Crashing Analysis*', в котором следует указать тип решаемой задачи – "Нахождение минимальной стоимости проекта" (*Finding the minimum cost schedule*), а также *можно* задать время, за которое надо завершить проект. Допустимые границы этого времени (при нормальной и ускоренной продолжительности всех работ) указаны там же. Напомним, что для решения оптимизационной задачи необходимо при вводе исходных данных предусмотреть ввод нормальной и ускоренной длительностей работ и соответствующих стоимостей.

После подтверждения ввода типа задачи – ОК – станут доступны результаты ее решения для минимального (по умолчанию) или заданного времени завершения проекта. В открывшемся окне '*Crashing Analysis for ****' таблица работ будет содержать следующую информацию:

- принадлежит работа критическому пути или нет (*On Critical Path*),
 - нормальная и ускоренная продолжительности работы (*Normal/Crash Time*),
 - текущая (предлагаемая) продолжительность работы (*Suggested Time*),
 - приращение стоимости работы относительно ее нормальной продолжительности (*Additional Cost*),
 - стоимость работы при нормальной продолжительности (*Normal Cost*),
 - текущая (предлагаемая) стоимость работы (*Suggested Cost*),
- а также итоговую информацию по проекту (*Overall project*):
- предлагаемое время завершения (*Suggested Time*),
 - приращение стоимости (*Additional Cost*).

Далее, вернувшись в меню '*Solve and Analyze*', можно заказать решение оптимизационной задачи с *уменьшенным временем* выполнения проекта и зафиксировать величину приращения затрат на проект для этого времени. Выполнив расчеты несколько раз, по полученным данным можно построить кри-

вую стоимости проекта. При вводе времени меньшего, чем минимально возможное, программа ответит результатом для минимального времени.

Пример

Требуется выполнить расчеты временных характеристик сетевой модели проекта, представленной на рис. 5.2, и решить задачу минимизации затрат на него, используя программный пакет WinQSB.

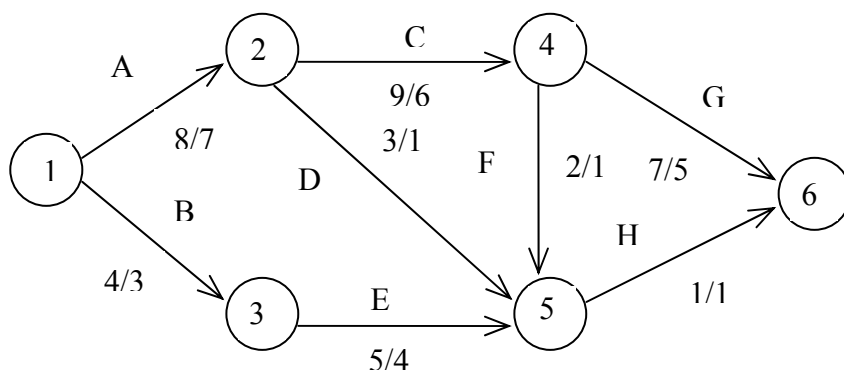


Рис. 5.2. Исходная сетевая модель (около работ указаны их имена и продолжительности: нормальная/ускоренная)

Исходную модель необходимо представить в терминах "работы-связи" (рис. 5.3).

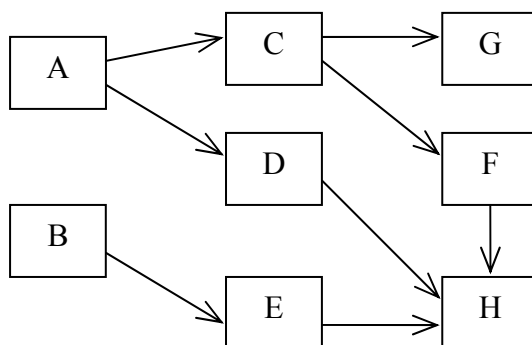


Рис. 5.3. Сетевая модель в терминах "работы-связи"

Матрица для ввода исходных данных имеет вид, показанный в табл. 5.1, а результаты представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.1

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor	Normal Time	Crash Time	Normal Cost	Crash Cost
1	A		8	7	0	20
2	B		4	3	0	50
3	C	A	9	6	0	10
4	D	A	3	1	0	40
5	E	B	5	4	0	10
6	F	C	2	1	0	70
7	G	C	7	5	0	70
8	H	D,E,F	1	1	0	0

Получив результаты расчета, можно с помощью опции "Результаты" (*Results*) главного меню запросить у программы их представление в графическом виде или в виде графика Гантта (рис. 5.4).

Результаты решения оптимизационной задачи для срока завершения проекта 20 недель представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.2

<i>Анализ работ для 'название задачи' (используя нормальное время)</i>								
	<i>Activity Name</i>	<i>On Critical Path</i>	<i>Activity Time</i>	<i>Earliest Start</i>	<i>Earliest Finish</i>	<i>Latest Start</i>	<i>Latest Finish</i>	<i>Slack</i>
1	A	Yes	8	0	8	0	8	0
2	B	No	4	0	4	14	18	14
3	C	Yes	9	8	17	8	17	0
4	D	No	3	8	11	20	23	12
5	E	No	5	4	9	18	23	14
6	F	No	2	17	19	21	23	4
7	G	Yes	7	17	24	17	24	0
8	H	No	1	19	20	23	24	4
<i>Время завершения проекта</i>					24			
<i>Полная стоимость проекта</i>					0			
<i>Число критических путей</i>					1			

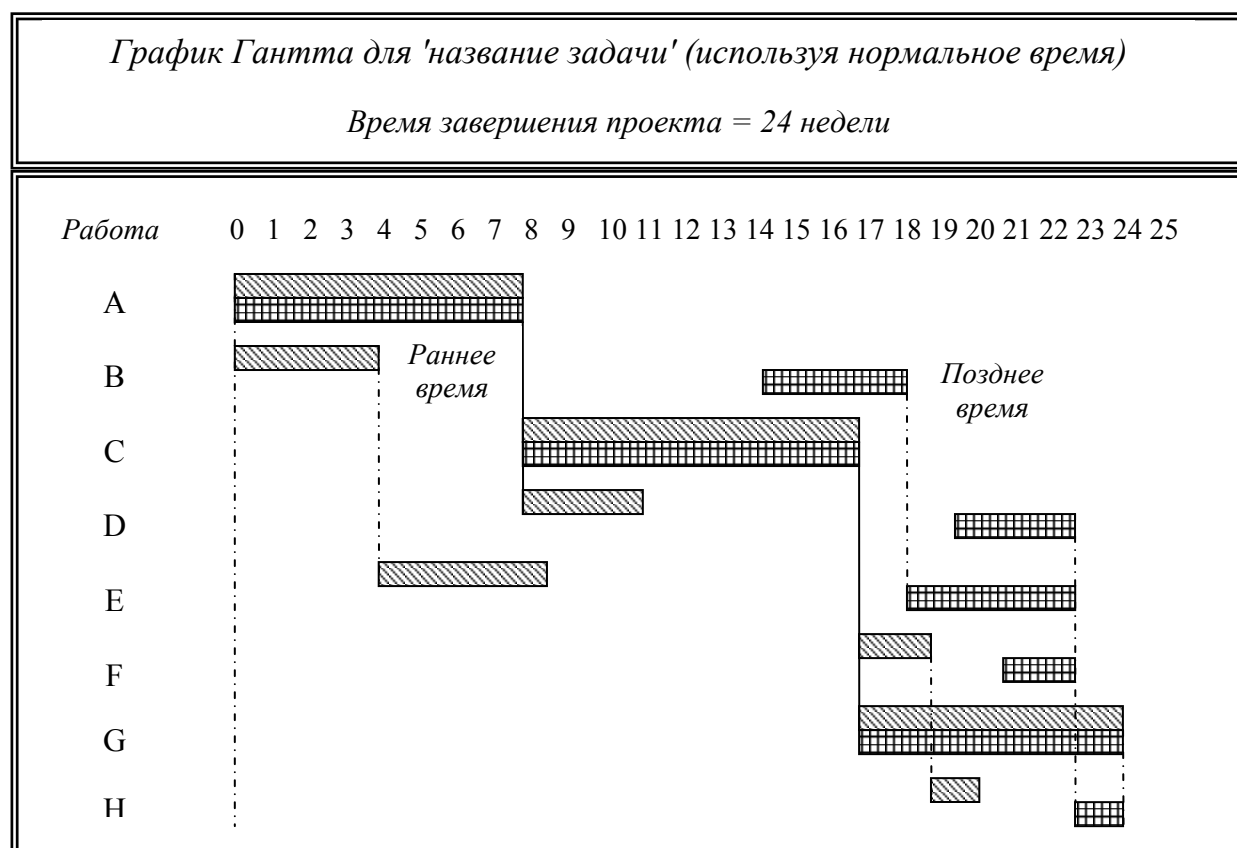


Рис. 5.4. Результаты решения задачи в виде графика Гантта

Таблица 5.3

Оптимизационный анализ для 'название задачи'								
	<i>Activity Name</i>	<i>Critical Path</i>	<i>Normal Time</i>	<i>Crash Time</i>	<i>Suggested Time</i>	<i>Additional Cost</i>	<i>Normal Cost</i>	<i>Suggested Cost</i>
1	A	Yes	8	7	7	20	0	20
2	B	No	4	3	4	0	0	0
3	C	Yes	9	6	6	10	0	10
4	D	No	3	1	3	0	0	0
5	E	No	5	4	5	0	0	0
6	F	No	2	1	2	0	0	0
7	G	Yes	7	5	7	0	0	0
8	H	No	1	1	1	0	0	0
На весь проект					20	30	0	30

Программный пакет представляет пользователю еще ряд специальных возможностей работы с программами CPM/PERT, с которыми можно познакомиться, изучив меню.

5.4. Программное решение задачи PERT

Ввод исходных данных для задачи типа PERT почти не отличается от рассмотренного ранее. Потребуется лишь выбрать способ задания длительности работы, как случайной величины. В открывшемся меню будет предложено множество вариантов задания. После выбора одного из них программа потребует ввода соответствующих ему исходных данных.

После ввода исходных данных могут быть получены результаты в виде:

- рассмотренной ранее таблицы '*Activity Analysis for ****', расширенной на два столбца: '*Activity Time Distribution*' (Способ задания времени выполнения работы) и '*Standard Deviation*' (Стандартное отклонение);
- графической модели;
- графика Ганта.

В меню "Результаты" (*Results*) можно также задать выполнение вероятностного анализа '*Perform Probability Analysis*'. После чего на экране появится окно '*Probability Analysis*', содержащее информацию о времени завершения проекта (*Completion Time Based on Mean/Expected Time*) и числе критических путей. В этом же окне потребуется ввести плановое время завершения проекта (*Desired Completion Time in Week*) – обязательно целое число, а после подтверждения правильности ввода нажатием клавиши '*Compute Probability*' на экран будет выведен результат – вероятность завершения проекта к плановому сроку.

Тема 6. УПРАВЛЕНИЕ РАБОТАМИ ПРОЕКТА

6.1. Основные понятия

Работа определяется как совокупность взаимосвязанных действий, направленных на достижение желаемого результата за намеченный (заданный) интервал времени или к определенному сроку. Работа наследует основные черты проекта – сроки, объем, бюджет, ресурсы, риски и т.д. – и является его составной частью. В этом смысле проект может быть представлен как совокупность взаимосвязанных работ.

Напомним основные понятия, касающиеся работ, необходимые для понимания материала данной темы.

Объем работы относится к важнейшим ее характеристикам и может выражаться в разных величинах: трудоемкости, продолжительности, стоимости и т.д.

Выделяются продолжительность работы, сроки ее начала (*раннее начало и позднее начало*) и сроки окончания работы (*раннее окончание и позднее окончание*). Точные значения сроков начала и окончания работ определяются при расчете расписания. Кроме того, работа обычно имеет планируемые стоимость и потребность в ресурсах.

Планируемая *потребность в ресурсах* определяется на основании того, какие ресурсы и в каких количествах должны быть использованы для выполнения работ проекта. Источником информации для этого могут служить нормативные показатели, СРР (см. 2.4), содержание работ, цели проекта.

Планируемая стоимость работ в общем случае определяется на основании планируемой потребности в ресурсах, необходимых для ее выполнения, и стоимости единицы ресурса. Возможны ситуации, когда нецелесообразно или трудно оценивать потребность в конкретных ресурсах на работу (административные работы, услуги и т.д.). В этом случае планируемая стоимость определяется либо по нормативам на данные виды работ, либо на основании заключенных договоров, либо в результате экспертных оценок и предыдущего опыта.

Продолжительность работы, планируемые потребность в ресурсах и стоимость являются взаимосвязанными показателями: изменение одного из них приведет к изменению остальных показателей.

6.2. Взаимосвязь объемов, продолжительности и стоимости работ

Объем является одной из важнейших характеристик проекта и отдельно взятой работы и определяется после разработки СРР на основе нормативов, экспертных оценок или имеющегося опыта. Понятие "объем" может использоваться для описания величины трудоемкости, продолжительности, стоимости.

Продолжительность проекта и составляющих его работ ограничивается фиксированной/желаемой датой его завершения, уставленной либо контрактом с заказчиком, либо другими внешними условиями (например, выход конкретного продукта на рынок). С другой стороны, продолжительность работы может быть определена исходя из ее объема и производительности ресурсов, требующихся для ее выполнения:

$$T(\text{продолжительность}) = \frac{V(\text{объем})}{Q(\text{производительность})}.$$

В общем случае объем работы является величиной фиксированной и продолжительность ее выполнения на практике определяется общей производительностью *управляющих ресурсов*. Управляющим считается ресурс, время работы которого непосредственно влияет на продолжительность работы. Например, в строительстве энергетических объектов вначале устанавливают продолжительность механизированных работ, ритм которых определяет все построение графика реализации проекта, а затем рассчитывают продолжительность работ, выполняемых вручную.

Стоимость работы в общем случае напрямую зависит от количества ресурсов, назначенных для ее выполнения. Ввиду того, что наиболее значимым и невосполнимым элементом проекта является время его выполнения, то именно за счет эффективного планирования ресурсов и затрат проекта можно добиться оптимального срока его завершения. Поэтому на этапах инициации и разработки графика проекта необходимо учесть следующее.

1. Можно ли обеспечить завершение работ и проекта в целом за более короткие сроки при наличии дополнительных ресурсов и финансирования?
2. Стоит ли применять новые технологии при выполнении работ и как это отразится на времени реализации проекта и его затратах?
3. Правильно ли рассчитана потребность в ограниченных ресурсах и оптимально ли они распределены между работами проекта?

Сущность затрат на работу проиллюстрирована на рис. 6.1.

Общие затраты проекта для каждого периода определяются как сумма прямых и косвенных затрат (накладных расходов). Последние связаны с обеспечением процесса реализации проекта и включают административные расходы, затраты, связанные с организацией работ, отчисления на рекламу, платежи по кредитам, арендную плату и т.д. Накладные расходы напрямую не связаны ни с одним из пакетов работ или конкретной работой. Любое сокращение сроков реализации проекта приведет к их уменьшению.

Как следствие, если данный вид затрат составляет существенную долю общих затрат проекта, то сокращение его продолжительности выразится в экономии финансовых средств.

Прямые затраты связаны с расходом денежных средств на оплату труда рабочих, закупку материалов, оборудования, обязательствами по субдоговорам. Они могут быть назначены на пакеты работ и отдельные работы. В идеальном случае длительность работы планируется таким образом, чтобы прямые затраты

на ее выполнение были минимальны. Но как только появляются ограничения, возникает необходимость сокращения длительности. Природа прямых затрат такова, что они *увеличиваются в объеме при сокращении длительности выполнения работы*. Поэтому, если необходимо сократить сроки реализации проекта при минимальном увеличении прямых затрат, следует прежде всего уменьшать длительность тех критических работ, стоимость которых менее всего зависит от их продолжительности (см. тему 4).

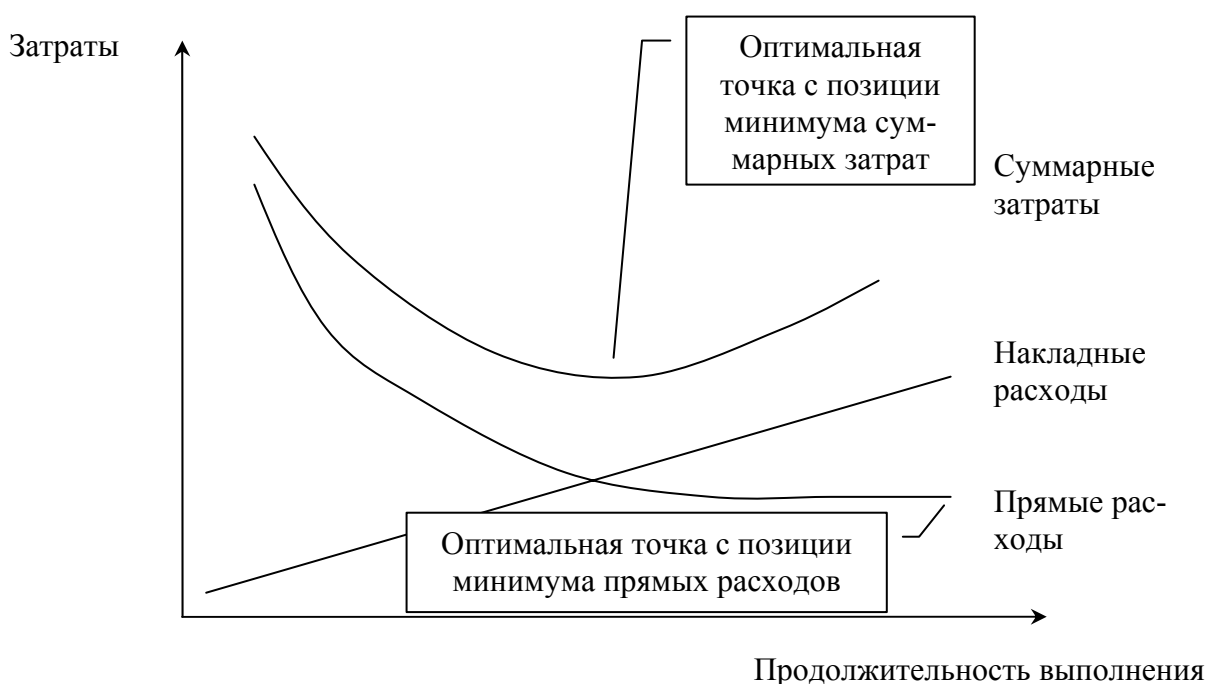


Рис. 6.1. Зависимость затрат на работу (проект) от ее продолжительности

В результате наличия двух противоположных тенденций кривая общих затрат на проект/работу имеет точку, в которой для реализации проекта требуется минимальный бюджет.

Таким образом, данные по расписанию (продолжительности), ресурсы и затраты, как основные элементы управления проектом являются взаимозависимыми — изменения в одном приводят к изменениям в других.

6.3. Методы управления содержанием работ

Под *содержанием работ* понимают описание работ, которые должны быть выполнены, и ресурсов, которые должны быть обеспечены. С другой стороны, для эффективного управления содержанием необходимо определить:

- работы для выполнения;
- последовательность работ;
- продолжительность работ;
- потребность в ресурсах и стоимость работ.

В любом случае описание/определение работ и ресурсов для их выполнения является важным этапом при управлении содержанием работ.

Определение работ включает идентификацию и документальное оформление отдельных работ, которые должны быть выполнены для достижения целей проекта, определенных в структуре разбиения работ. В данном процессе необходимо определять работы таким образом, чтобы могли быть достигнуты цели проекта.

Инструментарий для определения работ включает:

1) декомпозицию, которая представляет собой разделение элементов проекта на более мелкие управляемые компоненты. Основная разница между применением декомпозиции в данном случае и определением содержания проекта состоит в том, что результаты здесь описываются в терминах работ, а не целей;

2) список работ или часть подобного списка из предыдущего проекта часто используется как шаблон для нового проекта. В дополнение список работ для элемента СРР из текущего проекта может быть использован как шаблон для схожих элементов СРР.

Под *структурой работы* подразумевается следующий набор ее параметров:

- идентификатор – уникальный код, однозначно определяющий работу;
- описание – краткая характеристика, используемая в сетевой модели проекта;
- исходная длительность (продолжительность). Оценка времени (в часах, днях, неделях, месяцах, годах), требуемого для выполнения работы с учетом ее характера и необходимых ресурсов. На *оценку* продолжительности работ оказывают влияние ограничения по времени, потребность в трудовых ресурсах, их квалификация и опыт выполнения предыдущих проектов. Основными методами для оценки продолжительности работ являются:

1) экспертная оценка;

2) оценка по аналогам, подразумевает использование истинной продолжительности имевшей место ранее работы в качестве базы для оценки продолжительности похожей работы в будущем. Этот метод часто используется при оценке продолжительности проекта при ограниченном объеме детальной информации, например, на ранних стадиях. Данная оценка наиболее надежна, когда проекты являются однотипными и лица, осуществляющие оценку, имеют необходимый опыт;

3) имитация (моделирование). Имитация представляет собой расчет продолжительности при различных наборах предположений. Наиболее распространен метод Монте-Карло, в котором распределение возможных результатов определяется для каждой работы и используется в качестве расчета распределения возможных результатов для проекта в целом;

- процент выполнения – доля завершенной части работы в процентах;
- оставшаяся длительность для выполняемых работ. Рассчитывается либо исходя из процента выполнения, либо путем оценки;
- календарь – список рабочих и нерабочих периодов, принятый для выпол-

- нения работ в проекте;
- ранние начало и окончание, поздние начало и окончание работ;
 - резервы времени – свободный и полный. Свободный резерв определяет время, на которое можно задержать выполнение работ, не изменяя раннего начала всех последующих работ. Полный резерв определяет время, на которое может быть задержано выполнение работы без изменения продолжительности или сроков окончания всего проекта;
 - фактические начало и окончание – фактические даты начала и окончания работы;
 - предшествующая работа (работы);
 - последующая работа (работы).

Результатом определения работ являются:

- 1) список работ, который должен включать в себя все работы, которые будут выполнены в ходе проекта. Он должен быть оформлен как расширение СРР для удостоверения в том, что он является полным и не включает работы, которые не требуются для реализации содержания проекта;
- 2) дополнительные детали для списка работ (например, ограничения), которые должны быть задокументированы для их дальнейшего использования;
- 3) модернизация структур разбиения видов деятельности. При использовании СРР для определения работ команда проекта может определить отсутствующие предметы цели или выявить необходимость в корректировке описания целей.

6.4. Планирование потребности в ресурсах для выполнения работ

Планирование (описание) ресурсов включает определение того, какие физические ресурсы (люди, оборудование, материалы) и в каких количествах должны быть использованы для выполнения работ проекта. Планирование ресурсов непосредственно связано с составлением смет.

Планирование потребности в ресурсах осуществляется на основании:

- определения содержания проекта;
- разработки СРР;
- опыта ранее реализованных проектов;
- нормативной или проектной документации;
- описания существующих в организации запасов ресурсов;
- политики в отношении набора персонала, закупки материалов, аренды оборудования и т.д.

Методы планирования ресурсов сводятся к методам, позволяющим оптимально планировать потребность и *распределение ресурсов между работами*. Возможны ситуации, когда ресурсы, назначаемые на конкретную работу, являются основным фактором, определяющим сроки ее начала и окончания. В этом случае ресурсы имеют собственные *ресурсные календари*, согласно которым осуществляется выполнение работы.

При назначении работам ограниченных ресурсов необходимо учитывать их пределы потребления, что в дальнейшем позволит проводить анализ профилей их использования. Существующие программные продукты для календарно-сетового планирования поддерживают от одного до двух пределов потребления: нормальный и максимальный. Нормальный предел потребления характеризует то количество ресурса, которое может быть предоставлено для выполнения работы при нормальных условиях в единицу времени (например, для одного работника это 8 часов в день). Максимальный предел потребления характеризует то количество использования ресурса в единицу времени, которое может быть обеспечено при дополнительных затратах (10-12 часов в день при использовании сверхурочного времени) (рис. 6.2).

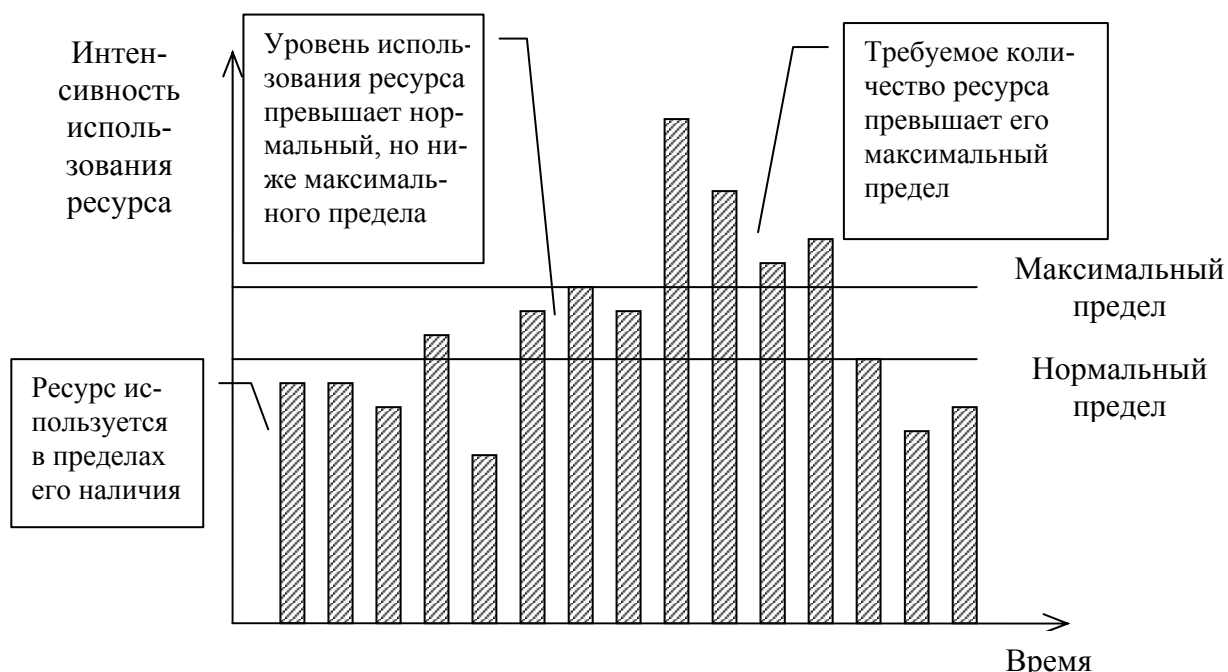


Рис. 6.2. Пределы потребления ресурсов

При анализе профилей использования ограниченных ресурсов определяется соответствие между пределами их потребления (возможностью) и потребностью для выполнения работы. В ряде случаев возникает *ресурсный конфликт*, когда потребность в каком-либо ресурсе превышает его максимально возможный предел потребления. Например, если одновременно выполняемые работы используют один и тот же ресурс (рис. 6.3).

Для оптимизации распределения ресурсов, и в частности разрешения ресурсных конфликтов, используются методы выравнивания, которые учитывают пределы потребления ресурсов и позволяют использовать их наиболее эффективно. Выравнивание ресурсов устраняет пики в использовании ресурсов и устанавливает уровень использования ресурсов ниже максимального предела (рис. 6.4).

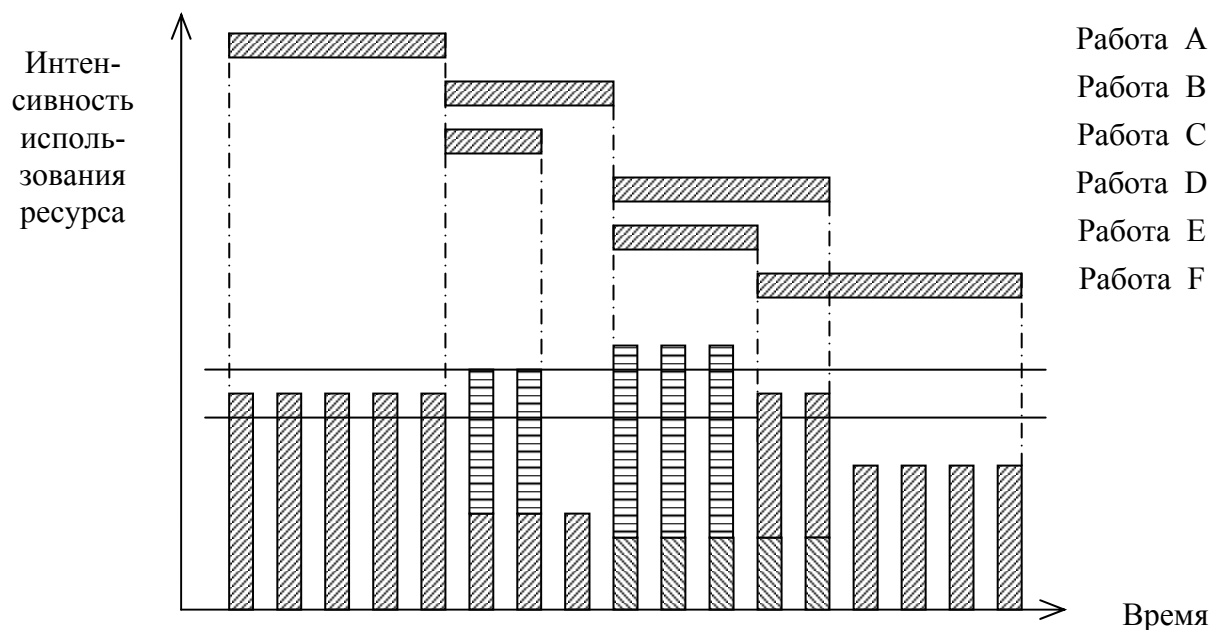


Рис. 6.3. Пример ресурсного конфликта работ

Как правило, используются следующие *методы выравнивания*:

- нормальное – работы планируются на более поздний срок за счет их резерва времени до появления необходимого количества ресурса;
- разбиение – работа разбивается на несколько частей, для выполнения каждой из которых есть необходимое количество ресурса;
- растяжение – уменьшение интенсивности использования ресурса до допустимого уровня за счет увеличения продолжительности работы;
- сжатие – в случае избытка ресурса на некотором интервале – уменьшение продолжительности выполнения работы за счет увеличения интенсивности использования ресурса.

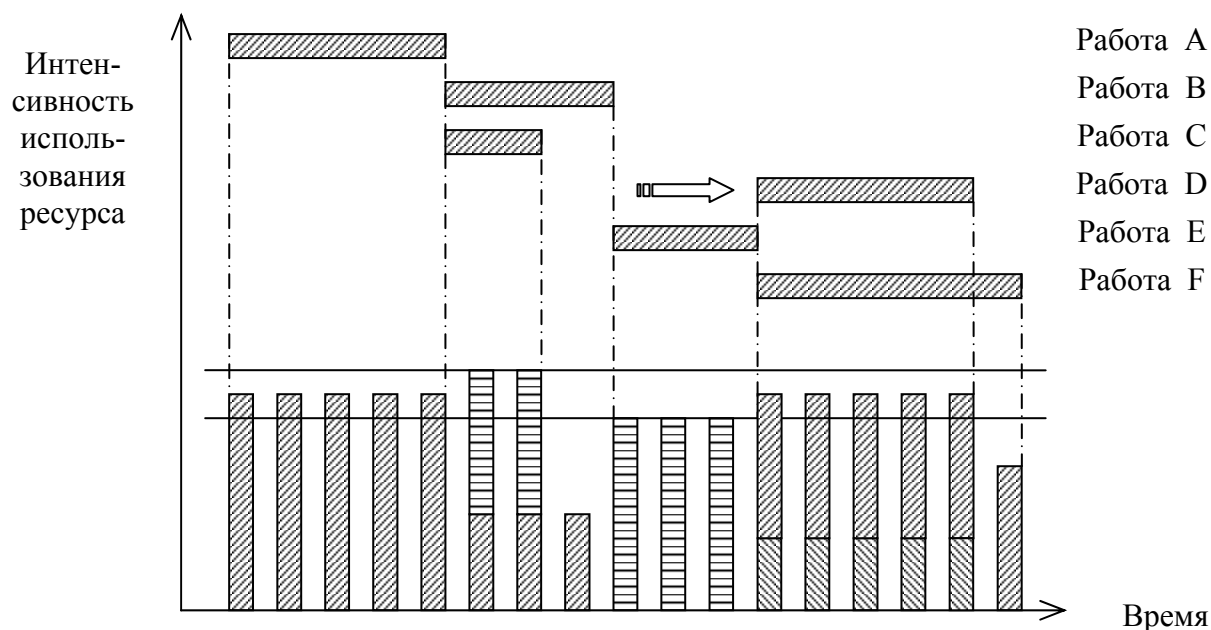


Рис. 6.4. Пример ресурсного выравнивания

6.5. Формы контроля производительности труда

Производительность труда – плодотворность, продуктивность производственной деятельности людей, т.е. способность конкретного труда создавать в единицу рабочего времени определенное количество продукции. В общем виде расчет производительности любого ресурса, в том числе – человеческого, выполняется по формуле:

$$\text{Производительность} = \frac{\text{Продукция}}{\text{Затраты ресурса}}$$

Управление производительностью включает следующие процессы:

- 1) измерение и оценку производительности;
- 2) контроль и планирование мер повышения производительности;
- 3) измерение и анализ фактического воздействия этих мер.

Измерение производительности – отбор физических, временных и иных показателей для оценки затрат и конечной продукции и вычисление количественного отношения между ними. Формы контроля производительности тесно связаны с методами ее измерения.

Компоненты исчисления и повышения производительности, а также планирования производительности представляют собой элементы *обратной связи*. В процессе управления производительностью обратная связь используется по крайней мере два раза. Во-первых, в результате оценки системы измерения может быть модифицирована сама система (возможно, измерения производятся некорректно или же неудовлетворителен состав показателей). Во-вторых, оценка системы измерения может стимулировать планирование производительности. Другими словами, результаты оценки способны побудить руководство предусмотреть и осуществить мероприятия по повышению производительности.

Существуют две группы измерителей производительности:

- *статистические коэффициенты производительности*. Это измеритель продукции, деленный на измеритель затрат за определенный период времени;
- *динамические индексы* производительности. Это статистический коэффициент производительности за определенный период, деленный на аналогичный коэффициент за некий предшествующий период. Получается безразмерный коэффициент, характеризующий динамику уровня производительности.

Внутри каждой группы имеются три типа измерителей производительности. Каждый из измерителей характеризует отношение продукции к затратам, но отличаются они тем, сколько элементов затрат учитывается:

- *частный измеритель* – учитывает один элемент затрат (труд, материалы и т.п.);
- *многофакторный измеритель* – учитывается несколько элементов затрат;
- *совокупный измеритель* – учитываются все элементы затрат.

Производительность труда измеряется тремя методами:

- стоимостным;
- натуральным;
- нормативным.

Наиболее распространенным является *стоимостный метод*, при котором количество продукции учитывается по сметной стоимости или договорной цене. Уровень производительности труда при этом характеризуется сметной стоимостью работ, приходящихся на одного работника.

Натуральный метод производительности труда позволяет определять выработку рабочих по профессиям в натуральных показателях по видам работ (м^3 кирпичной кладки и т.д.) либо в целом в единицах измерения конечного продукта, приходящегося на одного работающего (километр трубопровода и т.д.). По видам работ натуральный показатель (выработку в натуральных показателях) можно определить как отношение объема отдельного вида работ в натуральном измерении (м^2 , км) к численности работников, выполняющих данный вид работ.

Натуральная выработка является наиболее объективным и достоверным показателем производительности труда. Показатели выработки в натуральных измерителях позволяют определять и сравнивать производительность труда отдельных работников, планировать их численность, профессиональный и квалификационный состав.

Нормативный метод измерения производительности труда показывает соотношение фактических затрат труда на определенный объем работ с затратами труда, полагающимися по норме. Нормативный показатель представляет собой отношение трудоемкости работ по норме к фактической трудоемкости работ. Показатель трудоемкости не подвержен влиянию посторонних для каждого конкретного процесса факторов. Поэтому фактическая трудоемкость работ более правильно, чем показатель стоимостной выработки, характеризует уровень и динамику производительности труда.

Таким образом, "работа" является центральным, базовым понятием управления проектами наряду с понятием "ресурсы" в широком смысле этих категорий. Управление проектом основывается на разбиении проекта как целого на отдельные взаимосвязанные комплексы и пакеты работ, увязке их с возможными диапазонами сроков и продолжительностей, с потребными ресурсами с учетом всевозможных ограничений и требований по стоимости и качеству. Таким образом, нахождение оптимального баланса работ, которые требуется выполнить, с ресурсами, сроками завершения, качеством и стоимостью проекта является сутью процессов управления проектом.

7. КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТА

В процессе выполнения проекта проводится анализ его состояния по факту с учетом полностью законченных работ, достигнутых промежуточных результатов, а также поддающихся измерению и оценке завершенности работ, находящихся в процессе выполнения.

Оценки по выполненным и предстоящим объемам работ также могут быть полезны для определения причин задержек. Определение причин задержек проводится на основе совместного анализа отклонений от плана по времени и выполненным объемам работ, что может дать менеджеру начальные идеи о причинах задержек.

Пересмотр оценок длительностей работ проводится, если на стадии планирования использовались ошибочные оценки их объема или потребности в используемых ресурсах.

7.1. Состав и анализ факторов потерь времени

В процессе выполнения проекта наиболее распространенной причиной отклонения фактической длительности работ от запланированной является наличие потерь времени.

К потерям времени при реализации проекта приводят:

- ошибки ключевых участников проекта на стадии определения содержания работ, выражающиеся в неучете некоторых целей проекта, в неточностях определения участников проекта и основных вех его выполнения, а также в ошибочном построении СРР;
 - неполнота данных в процессе планирования;
 - поспешность планирования;
 - неучет предыдущего опыта при планировании;
 - составление графика работ исключительно группой планирования, тогда как в этом процессе обязательно должны участвовать те, кто будет его выполнять;
 - неправильно спланированные потребности в ресурсах, неучет возможности возникновения ресурсных конфликтов;
 - неучет рисков при планировании графика работ;
 - отсутствие необходимой детальной проработки плана проекта;
 - то, что фактическое состояние проекта не находит отражения в текущем графике выполнения работ, что обычно связано с нечеткой организацией обмена информацией между исполнителями работ и проектным офисом.
- В результате не отслеживаются расхождения между текущим и базовым

- графиками работ, не принимаются необходимые для проекта решения, т.е. план и проект "существуют отдельно друг от друга";
- необходимость переделки уже выполненных работ. Потери времени на устранение брака возникают в результате выполнения работ не в соответствии с требованием качества, например, из-за использования неквалифицированных работников или при их чрезмерной загрузке, ввиду поставки некачественных материалов и т.д.;
 - возникновение простоев/задержек в выполнении работ, которые связаны прежде всего с отсутствием условий для их выполнения. Это может выражаться либо в нерабочих погодных условиях, либо в перебоях с поставками материалов и оборудования по вине поставщиков и т.д.

7.2. Принятие решений

Определив отклонения проекта от плана, менеджер должен предпринять соответствующие действия. Чем раньше корректирующие действия предприняты, тем лучше.

В случае отклонения проекта от плана чаще всего используются пять основных вариантов действий

1. *Найти альтернативное решение* за счет использования новых технологических или организационных решений. Новое решение, например, может заключаться в изменении последовательности выполнения ряда работ.
2. *Пересмотр стоимости*. Решение может заключаться в увеличении нагрузки на существующие ресурсы или привлечении дополнительных людей, оборудования, материалов. Данный подход обычно применяется в случае необходимости устранения временных задержек проекта.
3. *Пересмотр сроков*. Данный подход означает, что сроки выполнения работ будут отодвинуты. Руководство проекта может пойти на такое решение в случае жестких ограничений по возможности привлечения дополнительных ресурсов.
4. *Пересмотр содержания работ*. Данный подход предполагает, что объем работ по проекту может быть уменьшен и соответственно лишь часть запланированных результатов проекта будет достигнута.
5. *Прекращение проекта*. Это, пожалуй, наиболее сложное решение. Однако оно должно быть принято, если прогнозируемые затраты по проекту превышают ожидаемые выгоды. Решение, связанное с прекращением проекта, кроме чисто экономических аспектов, связано с преодолением проблем психологического характера, связанных с интересами различных участников проекта.

7.3. Управление изменениями

Управление изменениями представляет собой процесс прогнозирования и планирования будущих изменений, регистрации всех потенциальных изменений (в содержании проекта, спецификации, стоимости, сетевом плане-графике и т.д.) для детального изучения, оценки последствий, одобрения или отклонения, а также организации мониторинга и координации исполнителей, реализующих изменения в проекте.

Под изменением понимается замещение одного решения другим вследствие воздействия различных внешних и внутренних факторов при разработке и реализации проекта. Изменения могут вноситься в различные разделы проекта. Инициировать изменения могут и заказчик, и инвестор, и проектировщик, и подрядчик. *Заказчик*, как правило, вносит изменения, улучшающие конечные технико-экономические характеристики проекта. *Проектировщик* может вносить изменения в первоначальную проектно-сметную документацию, спецификации. *Подрядчик* по ходу реализации проекта вносит изменения в календарный план, методы и технологии производства работ, последовательность (технологическую, пространственную) возведения объектов и т.д.

Причинами внесения изменений обычно являются невозможность предвидения на стадии разработки проекта новых проектных решений, использования более эффективных материалов, конструкций и технологий и т.д. а также отставание в ходе реализации проекта от запланированных сроков и объемов вследствие возникновения непредвиденных обстоятельств (см. 7.1).

Меняться могут следующие элементы проекта и факторы, влияющие на его реализацию:

- цели и планы проекта;
- механизмы реализации проекта;
- используемые ресурсы;
- контракты и обязательства по ним;
- используемые стандарты и нормативы;
- география размещения объектов;

Причинами изменений в содержании работ могут быть:

- изменения конъюнктуры на рынке;
- действия и намерения конкурентов;
- технологические изменения, изменения в ценах и доступности ресурсов;
- экономическая нестабильность;
- ошибки в планах и оценках;
- ошибки в выборе методов, инструментов, организационной структуре;
- изменения в контрактах и спецификациях;
- задержки поставок или поставки, не соответствующие требованиям качества;
- влияние других проектов.

Все множество изменений можно разделить на осознанные (желательные) изменения и вынужденные. Например, когда необходимо ускорить выполнение

проектов с тем, чтобы быстрее запустить производство или выпустить товар на рынок, принимается решение сократить сроки выполнения проекта. В данном случае руководство проекта *осознанно* осуществляет временные изменения с тем, чтобы получить выгоду от более раннего окончания проекта. Когда же график работ должен быть передвинут на более поздние сроки из-за недоброкачественных поставок, низкой производительности труда, руководство вынуждено пойти на пересмотр временных параметров выполнения работ.

Вынужденные изменения должны быть вовремя распознаны и реализованы с наименьшими убытками. Возможность же выполнения желаемых изменений должна быть дифференцирована и реализована с выгодой для проекта.

Неконтролируемые изменения, производящиеся в процессе реализации проекта, могут носить разрушающий характер для всего процесса управления.

Для эффективного управления изменениями в ходе реализации проекта необходимо применение соответствующих подходов:

- реализация эффективной взаимосвязи между участниками проекта;
- разграничение ролей и ответственности, связанных с каждым изменением;
- возможность отслеживать влияние изменений на временные и стоимостные показатели проекта,

Для *общего контроля изменений* используется набор формальных процедур, установленных внутрифирменным стандартом реализующей проект организации, которые определяют регламент изменений ранее принятых официальных документов проекта и порядок их утверждения. Это может быть, например, сложившаяся в организации система документооборота. Если такой системы нет, то команде проекта необходимо разработать подобную систему. Создание системы в этом случае становится частью проекта, причем весьма важной.

Для контроля изменений применяются также процедуры обработки изменений, которые могут быть утверждены без предварительного рассмотрения (например, в ходе регламентных работ с ограниченным временем принятия решения или при возникновении чрезвычайных ситуаций). Для таких заранее оговоренных случаев подсистема контроля изменений должна позволять "автоматически" утверждать определенные категории изменений. Как и любые другие изменения, эти изменения должны быть в обязательном порядке задокументированы и учтены, чтобы не возникло проблем в дальнейшем из-за отсутствия информации о реальном состоянии дел по проекту.

Результаты общего контроля изменений в обязательном порядке доводятся до сведения всех участников проекта.

Функции общего контроля изменений закрепляются за комиссией (группой) контроля изменений (*Change Control Board*), которая несет ответственность за утверждение или отклонение запросов на изменения. Права и обязанности комиссии должны быть четко определены и согласованы с основными участниками проекта. В больших и сложных проектах может работать одновременно несколько комиссий с разными правами и обязанностями.

Если проект выполняется по контракту, то все изменения должны быть

согласованы со сторонами-участниками этого контракта. Контроль невозможен без отработанных процедур оценки результатов деятельности, позволяющих определять величину отклонения от плана, причину этого отклонения и необходимость корректирующих действий. Перепланирование является одним из характерных моментов практически для любого проекта, так как редко, когда проект выполняется в соответствии с планом.

Для обеспечения эффективного *контроля за содержанием отдельных работ* проекта также должны быть определены формальные процедуры управления изменениями.

Процесс контроля за реализацией изменений подразумевает работу с набором документов, регламентирующих учет и сопровождение каждого отдельного изменения от появления потребности в нем до его полной реализации. Конкретные реализации данного процесса не только могут значительно варьироваться в зависимости от области деятельности и принятой в организации системы управления, но и могут изменяться для проектов в рамках одной организации.

В достаточно общем виде данный процесс должен регламентировать прохождение изменений через пять основных стадий:

1. *Описание*. На начальной стадии необходимо уяснить и описать предлагаемое изменение. Предложение документируется и обсуждается.

2. *Оценка*. Вторая стадия предусматривает полномасштабный анализ влияния предлагаемого изменения. Для этого производится сбор и согласование всей информации, необходимой для оценки последствий данного изменения. Результаты исследования документируются и обсуждаются.

3. *Одобрение*. Рассматриваются результаты исследований и принимается решение:

- одобрить изменение,
- отказать,
- отложить рассмотрение.

Если принято решение отложить реализацию изменения, то необходимо провести дополнительные исследования и расчеты. Если принимается положительное решение, то утверждаются исполнители и выделяются средства на проведение изменения. Принятые решения документируются.

4. *Реализация*. Изменение вносится в план проекта и реализуется.

5. *Подтверждение исполнения*. Контроль корректного и полного выполнения работ в рамках данного изменения. В случае положительного результата изменение снимается с контроля.

Таким образом, в идеальном случае контроль реализации изменений представляет собой комплексную технологию управления проведением изменения проекта с соответствующим набором документации и распределением обязанностей.

Таким образом, все основные элементы проекта должны контролировать-

ся руководством, которое должно определить процедуру и установить последовательность сбора данных через определенные интервалы времени, производить анализ полученных данных, анализировать текущие расхождения фактических и плановых показателей, прогнозировать влияние текущего состояния дел на выполнение оставшихся объемов работ, а также вносить изменения в планы работ и контролировать их исполнение.

Основные принципы построения эффективной системы контроля:

- наличие четких планов;
- наличие ясной системы отчетности;
- наличие эффективной системы анализа фактических показателей и тенденций;
- наличие эффективной системы реагирования.

Завершающим шагом процесса контроля являются действия, предпринимаемые руководством и направленные на преодоление отклонений в ходе работ проекта. Эти действия могут быть направлены на исправление выявленных недостатков и преодоление негативных тенденций в рамках проекта. В ряде случаев может потребоваться полный пересмотр плана.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ "СОСТАВЛЕНИЕ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСА РАБОТ И РАСЧЕТ ЕЕ ПАРАМЕТРОВ"

Выполнение курсовой работы завершает цикл изучения дисциплины "Менеджмент проектов в энергетике". Ее целью является закрепление знаний, полученных студентами, и приобретение ими навыков практических расчетов сетевых моделей проектов, как вручную, так и с применением персональных компьютеров.

8.1 Задание на выполнение курсовой работы

Студенту необходимо самостоятельно выбрать тему и построить сетевую модель комплекса работ, а затем рассчитать ее временные характеристики.

Сетевая модель проекта должна включать не менее 40 работ, число событий не ограничено. Тематика проекта – произвольна, желательно лишь, чтобы она была хорошо знакома студенту. Не следует также выбирать темы – технологические процессы типа "Как сварить борщ" и темы, связанные с организацией работы одного исполнителя типа "Как написать курсовую работу по управлению проектами". Следует помнить, что проект это крупный комплекс работ, где задействовано много соисполнителей, а задача менеджера проекта – координировать их деятельность. Поэтому приемлемыми являются темы типа "Организация празднования Нового года в студенческой группе" или "Проектирование теплоэлектростанции".

Оценка длительностей работ выполняется студентом самостоятельно методом аналогов или на основе нормативной документации, полученной на предприятии. Расчет характеристик проекта выполняется методами СРМ и PERT, а результаты ручного расчета должны быть проверены с помощью компьютера и пакета *WinQSB*.

8.2 Содержание курсовой работы

Курсовая работа должна быть объемом не менее 25 страниц текста, таблиц и рисунков и должна содержать следующие части.

Оглавление.

Введение, объемом до 1 м. п. стр., где должны быть раскрыты задачи курсовой работы и методы их решения.

1. Построение сетевой модели комплекса работ, где дается общая характеристика проекта, структура разбиения работ, приводится таблица исходных

данных по работам, укрупненная сетевая модель на уровне пакетов/групп работ, полная сетевая модель проекта.

Полная сетевая модель строится сначала в терминах "работы-связи", затем – "события-операции", причем между обоими вариантами должно существовать взаимно однозначное соответствие. Модель должна быть проверена на ее соответствие требованиям к изображению подобных моделей.

2. Упорядочение и перенумерация событий сети. Упорядочение выполняется методом Де-Мукрона (табличным методом), причем достаточно одного подхода: исключения предков или исключения потомков. Результат представляется в виде сети, разбитой на слои. Затем производится перенумерация событий. Исходная нумерация событий произвольна.

3. Расчет временных характеристик сетевой модели. Для расчета временных характеристик необходимо сначала по исходным данным рассчитать параметры работ: математическое ожидание и дисперсию длительности. Затем, условно считая, что рассчитанные математические ожидания являются детерминированными оценками длительностей, следует выполнить полный расчет детерминированных временных характеристик сетевой модели. Результаты расчетов свести в две таблицы:

а) таблица расчета ранних и поздних сроков свершения событий методом Форда и расчета резервов событий,

б) таблица расчета ранних и поздних начал и окончаний работ и всех видов резервов работ.

На сети выделяется критический путь и показывается пример процедуры его поиска.

В завершение этой части работы следует вернуться к рассмотрению параметров работ как случайных величин и решить задачу нахождения ожидаемых с вероятностями: 36, 50, 73, 98 % сроков выполнения проекта. При этом, очевидно, могут быть частично использованы результаты предыдущего расчета.

4. Расчет сетевой модели с помощью программного пакета должен содержать распечатки исходных данных и результатов расчетов полной сетевой модели методами PERT и СРМ.

Заключение, в котором подводятся итоги выполненных работ.

Список литературы.

8.3 Оформление курсовой работы

Материал курсовой работы должен быть представлен в виде текста, таблиц, рисунков, набранных и распечатанных с помощью компьютера на стандартных листах белой бумаги формата А4 и надежно сброшюрованных произвольным способом. Шрифт *Times New Roman Cyr* №12 или 14, межстрочный интервал – 1, нумерация страниц – вверху по центру. Полная сетевая модель ввиду своего большого размера может быть изображена "от руки" на неформатном листе, свернута до размера стандартного формата и сброшюрована вме-

сте с остальным материалом. Форма титульного листа представлена далее в приложении.

8.4 Порядок выполнения работы

Для начала выполнения курсовой работы студенту необходимо, как минимум, изучить тему 2. При этом нет необходимости получать индивидуальное задание у преподавателя (консультанта-тьютора): для начала работы достаточно ознакомиться с настоящими методическими указаниями. Далее, по мере изучения следующих тем, выполнение курсовой работы может быть продолжено.

Устанавливаются две контрольные точки, в которых промежуточный материал должен быть представлен преподавателю на подпись:

- 1) составленная студентом полная сетевая модель проекта;
- 2) выполненный студентом ручной расчет временных характеристик сети.

Законченная работа должна быть сдана преподавателю на проверку до начала экзаменационной сессии. Дополнительная публичная защита работы не производится.

Приложение 1

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Факультет экономики и менеджмента
Кафедра экономики и менеджмента в энергетике и природопользовании

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине **МЕНЕДЖМЕНТ ПРОЕКТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Приложение 2

Таблица значений функции накопленной вероятности
для нормального закона распределения случайной величины

X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	00399	00798	01197	01595	01994	02392	02790	03188	03586
0,1	03983	04380	04776	05172	05567	05962	06356	06749	07142	07535
0,2	07926	08317	08706	09095	09483	09871	10257	10642	11026	11409
0,3	11791	12172	12552	12930	13307	13683	14058	14431	14803	15173
0,4	15542	15910	16276	16640	17003	17364	17724	18082	18439	18793
0,5	19146	19497	19847	20194	20540	20884	21226	21566	21904	22240
0,6	22575	22907	23237	23565	23891	24215	24537	24857	25175	25490
0,7	25804	26115	26424	26730	27035	27337	27637	27935	28230	28524
0,8	28814	29103	29389	29673	29955	30234	30511	30785	31057	31327
0,9	31594	31859	32121	32381	32639	32894	33147	33398	33646	33891
1,0	34134	34375	34614	34850	35083	35314	35543	35769	35993	36214
1,1	36433	36650	36864	37076	37286	37493	37698	37900	38100	38298
1,2	38493	38686	38877	39065	39251	39435	39617	39796	39973	40147
1,3	40320	40490	40658	40824	40988	41149	41309	41466	41621	41774
1,4	41924	42073	42220	42364	42507	42647	42786	42922	43056	43189
1,5	43319	43448	43574	43699	43822	43943	44062	44179	44295	44408
1,6	44520	44630	44738	44845	44950	45053	45154	45254	45352	45449
1,7	45543	45637	45728	45818	45907	45994	46080	46164	46246	46327
1,8	46407	46485	46562	46638	46712	46784	46856	46926	46995	47062
1,9	47128	47193	47257	47320	47381	47441	47500	47558	47615	47670
2,0	47725	47778	47831	47882	47932	47982	48030	48077	48124	48169
2,1	48214	48257	48300	48341	48382	48422	48461	48500	48537	48574
2,2	48610	48645	48679	48713	48745	48778	48809	48840	48870	48899
2,3	48928	48956	48983	49010	49036	49061	49086	49111	49134	49158
2,4	49180	49202	49224	49245	49266	49286	49305	49324	49343	49361
2,5	49379	49396	49413	49430	49446	49461	49477	49492	49506	49520
2,6	49534	49547	49560	49573	49585	49598	49609	49621	49632	49643
2,7	49653	49664	49674	49683	49693	49702	49711	49720	49728	49736
2,8	49744	49752	49760	49767	49774	49781	49788	49795	49801	49807
2,9	49813	49819	49825	49831	49836	49841	49846	49851	49856	49861
3,0	0,49865	3,1	49903	3,2	49931	3,3	49952	3,4	49966	
3,5	49977	3,6	49984	3,7	49989	3,8	49993	3,9	49995	

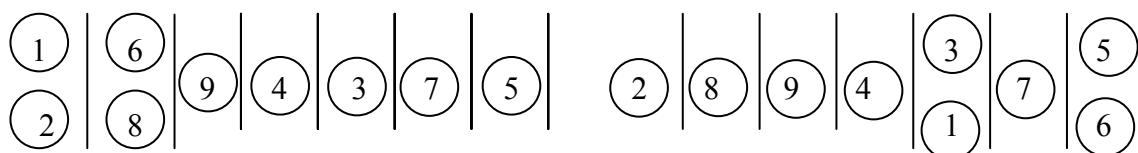
Отвѣты

Тема 3.

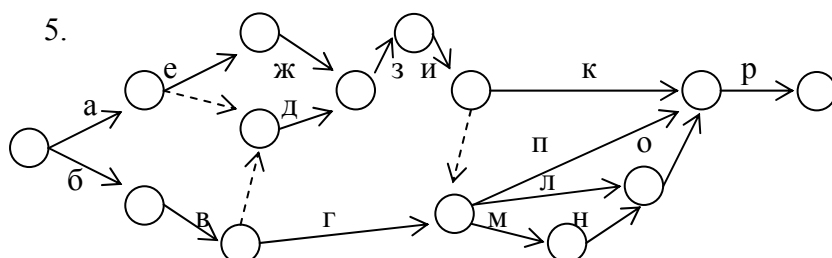
2. Расположение вершин графа, разбитого на слои методом исключения:

предков

ПОТОМКОВ



5.



8.

Работа ij	t_{ij}	Начала и окончания работ				Резервы работ			
		$t_{\text{рн}}$	$t_{\text{ро}}$	$t_{\text{пн}}$	$t_{\text{по}}$	$R_{\text{п}ij}$	$R_{\text{н}ij}$	$R_{\text{ч}2ij}$	$R_{\text{ч}2ij}$
1-2	4	0	3	4	7	3	0	3	0
1-3	8	0	0	8	8	0	0	0	0
2-3	1	4	7	5	8	3	0	0	3
2-6	15	4	10	19	25	6	1	3	4
3-4	5	8	12	13	17	4	0	4	0
3-5	9	8	8	17	17	0	0	0	0
4-5	0	13	17	13	17	4	0	0	4
5-6	6	17	19	23	25	2	0	2	0
5-7	15	17	17	32	32	0	0	0	0
6-7	7	23	25	30	32	2	0	0	2

10. $T_{kp} = 82$, $\sigma_{kp}^2 = 8,94$, $\sigma_{kp} = 2,99$;

а) 80,85; б) 82,0; в) 85,0; г) 87,4;

a) 30,8 %; б) 15,8 %; в) 69,1 %.

Тема 4.

1. Максимальный поток равен 17, один из вариантов расстановки дуговых потоков:

Дуга	Дуговой поток	Дуга	Дуговой поток
1-2	2	3-4	5
1-3	6	3-6	3
1-4	7	4-5	3
1-5	2	4-6	9
2-3	2	5-6	5

Минимальный разрез: (3-6, 4-6, 5-6).

2. Максимальный поток равен 54, один из вариантов распределения дуговых потоков:

Дуга	Дуговой поток	Дуга	Дуговой поток
1-2	7	3-6	13
1-3	31	3-7	17
1-5	16	5-6	5
2-3	7	5-7	19
3-5	8	6-7	18

Минимальный разрез: (1-2, 1-3, 1-5).

6.

Показатели решения задачи	Итерации			
	1	2	3	4
ΔV	48	0	10	18
V	48	48	58	76
$\Delta T_{кр}$	2	1	2	1
$T_{кр}$	21	20	18	17
Работы, изменяющие длительность	3-5	5-6	3-4, 3-5	1-2, 1-3
ΔP	96	48	116	76
P	96	144	260	336

7. Срок завершения проекта: начальный – 20 ед. времени, сокращенный – 11 ед. времени. Затраты на сокращение – 369 ед. стоимости. Новые длительности работ:
(1-2) – 7, (1-4) – 6, (3-5) – 4, (4-5) – 5.

9.

Показатели решения задачи	Итерации				
	1	2	3	4	5
ΔV	1	1	0	4	3
V	1	2	2	6	9
$\Delta T_{кр}$	3	2	4	1	2
$T_{кр}$	20	18	14	13	11
Работы, изменяющие длительность	1-2	5-6	6-7	1-5, 2-5	1-5, 2-3, 2-4, 2-5
ΔP	3	4	8	6	18
P	183	187	195	201	219

Список литературы

1. Мазур И. И., Шапиро В. Д., Ольдерогге Н. Г. Управление проектами. М.: Экономика, 2001.
2. Производственный менеджмент: Учебник / Под ред. В. А. Козловского. М.: "ИНФРА-М", 2006.
3. Макаров В.М. Производственный менеджмент. Модели и методы управления проектами: Практикум. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000.
4. Макаров В.М. Менеджмент проектов: Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. (Экономика и управление на предприятии)

СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ	3
1.1. Что такое проект и управление проектами	3
1.2. История разработки методов управления проектами	5
1.3. Сущность управления проектами	5
1.4. Взаимосвязь управления проектами и управления инвестициями.....	6
1.5. Цель и стратегия проекта	8
1.6. Окружение проектов	10
1.7. Управляемые параметры проекта	12
1.8. Проектный цикл	12
Тема 2. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЕКТА	14
2.1. Основные понятия и определения	14
2.2. Процессы планирования	15
2.3. Уровни планирования	16
2.4. Структура разбиения работ (СРР)	18
2.5. Назначение ответственных	22
2.6. Определение основных вех	25
2.7. Типичные ошибки планирования и их последствия	26
2.8. Детальное планирование	28
Тема 3. МЕТОДЫ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ	29
3.1. Преимущества методов сетевого планирования	29
3.2. Математические основы сетевого планирования и управления проектами. Основные определения теории графов	30
3.3. Отношения строгого порядка следования вершин в ориентированном связном графе без циклов	33
3.4. Переход от графа к сетевой модели комплекса работ	34
3.5. Детерминированный расчет временных характеристик проектов. Метод критического пути (СРМ)	38
3.5.1. Ранние сроки свершения событий	38
3.5.2. Поздние сроки свершения событий	39
3.5.3. Резервы событий	40
3.5.4. Ранние и поздние начала и окончания работ	40
3.5.5. Резервы работ	40
3.6. Стохастический расчет временных характеристик проектов. Метод <i>PERT-time</i>	43
3.7. Задачи для самоконтроля	47
Тема 4. ПОТОКИ В СЕТЯХ. ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТОВ	51
4.1. Потокотая интерпретация графа; постановка задачи о максимальном потокот в сети	51
4.2. Алгоритм решения задачи о максимальном потоке	52
4.3. Постановка задачи минимизации затрат на проект	55
4.4. Алгоритм решения задачи минимизации затрат на проект	57
4.5. Задачи для самоконтроля	61
Тема 5. СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА <i>WinQSB</i>	64
5.1. Общая характеристика пакета <i>WinQSB</i> и программной группы PERT/СРМ	64
5.2. Программное решение задачи СРМ	65

5.3. Программное решение задачи минимизации затрат на проект	67
5.4. Программное решение задачи PERT.....	70
Тема 6. УПРАВЛЕНИЕ РАБОТАМИ ПРОЕКТА	71
6.1. Основные понятия	71
6.2. Взаимосвязь объемов, продолжительности и стоимости работ	71
6.3. Методы управления содержанием работ	73
6.4. Планирование потребности в ресурсах для выполнения работ	75
6.5. Формы контроля производительности труда	78
Тема 7. КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТА	80
7.1. Состав и анализ факторов потерь времени	80
7.2. Принятие решений	81
7.3. Управление изменениями	82
Тема 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ "СОСТАВЛЕНИЕ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСА РАБОТ И РАСЧЕТ ЕЕ ПАРАМЕТРОВ"	86
8.1 Задание на выполнение курсовой работы	86
8.2 Содержание курсовой работы	86
8.3 Оформление курсовой работы	87
8.4 Порядок выполнения работы	88
Приложения	89
Ответы	91
Список литературы	93

**ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ
В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Макаров Василий Михайлович

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ
В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Учебное пособие

2-е издание, стереотипное

Свод. темплан 2009 г.

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97.

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции

ОК 005-93, т.2; 95 3005 – учебная литература

Подписано в печать 2009. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 6,0. Уч.-изд. л. 6,0. Тираж Заказ .

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного автором, в типографии

Издательства Политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.