

Г. Э. ПАРАУБЕК

СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ

**(Методы построения, расчетов
и оптимизации сетевых графиков)**

ЭКОНОМИКА

Москва—1967

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМ. С. ОРДЖОНИКИДЗЕ

Курсы по обучению руководящих работников
методам сетевого планирования и управления

Г. Э. ПАРАУБЕК

СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ

(Методы построения, расчетов
и оптимизации сетевых графиков)

Выпуск 5 .

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЭКОНОМИКА“

Москва—1967

Глава I

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И СИСТЕМЫ СПУ

§ 1. Сущность и разновидности систем организационного управления

Всякое управление предполагает наличие трех элементов:

- 1) объекта управления (управляемой системы);
- 2) окружающей среды;
- 3) системы или устройств, воздействующих на объект управления (управляющей системы).

В качестве объекта управления могут быть предметы и люди. Управлять можно технологическим процессом и отраслью народного хозяйства.

Для современных условий наиболее характерны объекты большого масштаба по числу участвующих в них коллективов, по количеству составных элементов и по стоимости проводимых работ. Такие объекты управления именуются сложными динамическими системами.

Под управляемой системой следует понимать комплекс взаимосвязанных элементов, выполняющих отдельные функции в интересах достижения единой конечной цели. Сложность управляемой системы характеризуется количеством входящих в нее элементов, характером и числом связей между ними, а также числом различных состояний, в которых может находиться система. Динамичность системы проявляется в постоянной смене этих состояний, в изменении параметров и их взаимосвязей.

Управляемая система постоянно испытывает влияние внешних воздействий, создающих положение некоторой неопределенности. Эта неопределенность обусловлена на-

личием множества случайных факторов, влияющих на систему (непредвиденные обстоятельства, помехи разного рода). Создавшаяся неопределенность в ряде случаев усугубляется еще и отсутствием должного опыта при разработке и реализации системы вследствие ее новизны и вытекающих отсюда приближенных решений и допущений, уточняемых по мере хода разработки.

Под влиянием внешних воздействий изменяются параметры управляемой системы, в результате чего достижение намеченной цели может затрудниться. Управление призвано поддерживать установленный рациональный режим и ритм работы, восстанавливать нарушенное состояние подвижного равновесия, столь характерное для динамических систем, направлять систему на правильный, возможно новый, отличный от первоначального, путь, обеспечивая слаженную и бесперебойную работу всех ее звеньев.

Эффективность действия управляющей системы в значительной степени определяется постановкой службы информации, основанной на современных математических методах и вычислительной технике. В связи с этим представляет интерес обследование содержания работы руководителей ряда предприятий различных отраслей промышленности, проведенное Оксфордским колледжем. Анализ результатов обследования показал, что 39% времени занимает получение и систематизация информации, 30% — выдача указаний и рекомендаций, 13% — принятие решений, 18% — проверка исполнений и другие обязанности. Таким образом, наибольшей затраты времени требует сбор информации и ее освоение. В общей системе управления ведущая роль должна отводиться рациональной организации потоков информации с использованием при этом в необходимых случаях механизации и автоматизации процессов, связанных со сбором и обработкой информации.

В любой управляющей системе можно выделить следующие процессы: измерение и передача информации о состоянии объекта управления; преобразование информации в форму, наиболее удобную для последующего использования; передача и исполнение команд управления.

На рис. 1 показана принципиальная схема управления, состоящая из шести блоков. Преобразованная информация может сразу же поступать на выход, минуя

орган управления. В случае если возникает необходимость по отдельным частям системы принять специальные решения, эффективность их, как правило, должна быть предварительно проверена. Это достигается неоднократным «проигрыванием» возможных вариантов на ЭВМ (пунктирная линия), с тем чтобы в окончательно сформированную команду управления было заложено самое прогрессивное решение.

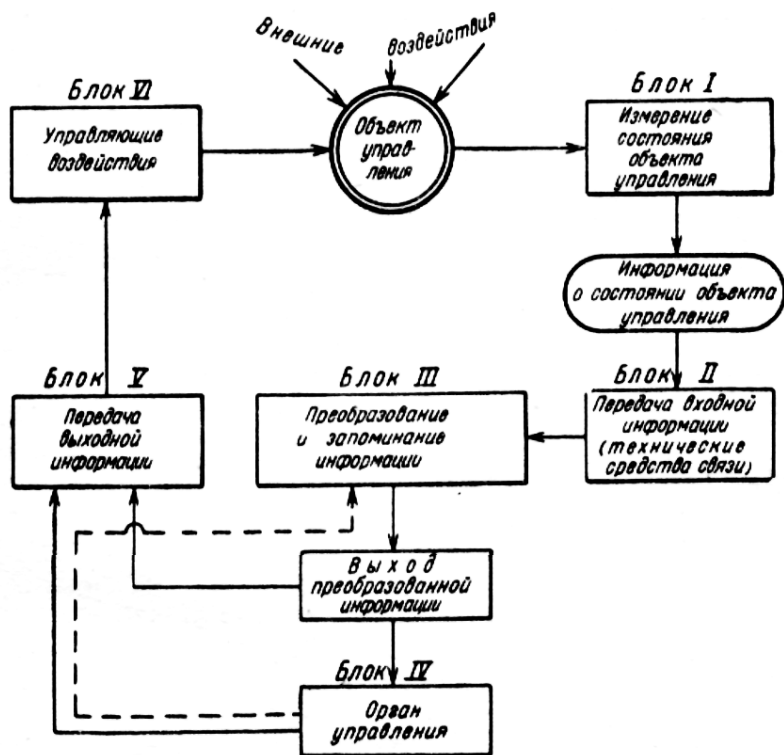


Рис. 1. Принципиальная схема управления системами

Системы управления в первом приближении можно классифицировать по назначению, параметрам управления, организационно-техническому уровню и видам моделей.

По назначению системы подразделяются на одноцелевые и многоцелевые. Одноцелевая система характеризуется комплексом действий, направленных на достижение одной определенной цели, хотя в ней может принимать участие большое число различных организаций.

Примером одноцелевой системы служит строительство крупного объекта.

Многоцелевая система возникает при необходимости управления деятельностью организации, выполняющей одновременно несколько комплексов операций, каждый из которых имеет свою отличную от других цель. Примером многоцелевой системы может служить управление деятельностью министерства, главных управлений и т. д.

Необходимо различать следующие параметры, по которым должно вестись управление системой: время, стоимость, ресурсы и технико-экономические показатели (ТЭП). Время учитывается всегда, остальные параметры — в необходимых случаях. В зависимости от различного сочетания параметров возникают и соответствующие разновидности системы управления по конечным ее параметрам и их сочетаниям, к числу которых относятся: 1) время; 2) время — стоимость; 3) время — ресурсы; 4) время — стоимость — ресурсы; 5) время — ТЭП; 6) время — стоимость — ТЭП; 7) время — ресурсы — ТЭП; 8) время — стоимость — ресурсы — ТЭП.

В современной зарубежной и отечественной практике применения систем организационного управления наибольшее распространение получили системы с параметром «время». Одновременно широким фронтом ведутся поисковые работы по выработке обобщающего критерия по управлению сложными системами.

Возможность учета в системе всех видов ресурсов, к которым в первую очередь следует отнести рабочую силу, оборудование и денежные затраты, значительно расширяет сферу планирования и управления системой. Составленный план разработки должен быть оптимизирован не только по срокам, но и по всем видам ресурсов. Контроль за выполнением разработки должен производиться по затраченному времени, размещению рабочей силы, использованию оборудования и суммам затраченных средств. Принятые в процессе регулирования системы решения также следует оценивать с точки зрения их влияния на названные выше показатели.

По организационно-техническому уровню системы управления подразделяются на системы малого, среднего и большого масштаба.

Системы малого масштаба характерны для небольших предприятий, отдельных объектов строительства. Управ-

ление в этом случае может осуществляться без применения средств вычислительной и информационной техники.

Системы среднего масштаба характерны для крупных предприятий, узлов сосредоточенного строительства. Они требуют обязательного применения электронно-вычислительных машин и технических средств сбора и переработки информации с использованием телеграфных, телеграфных и радиотелеграфных линий.

Системы большого масштаба предусматривают управление отраслью народного хозяйства на уровне госкомитета, министерства, ведомства из единого центра. Эта система характеризуется применением мощных ЭВМ и автоматизацией сбора, передачи и обработки информации.

По видам используемых моделей системы делятся на использующие линейные модели и использующие сетевые модели.

Процесс управления значительно облегчается, если управляемую систему представить в виде модели. Под моделью следует понимать план разработки, составленный таким образом, чтобы он отражал весь ход событий по достижению конечной цели при заданных условиях. Составленная модель должна быть адекватна моделируемой системе, т. е. наиболее полно отражать ее состояние и все последующие изменения. Правильное построение модели считается одной из наиболее трудных задач моделирования. Широкое распространение при построении моделей управляемых систем получили графические методы, как наиболее универсальные и дающие обзримую информацию о ходе работ.

Длительное время в качестве таких моделей служили линейные календарные планы, или ленточные диаграммы Ганта (рис. 2). На таких графиках горизонтальными отрезками показаны последовательность и сроки выполнения соответствующих операций с указанием объема работ и числа исполнителей.

Разновидностью линейных графиков являются циклограммы, на которых производственные операции представлены в виде наклонных линий, вычерченных в системе координат (рис. 3).

Существенным недостатком традиционных календарных графиков и циклограмм является их неспособность в полной мере отражать взаимосвязи отдельных опера-

ций, число которых неизмеримо возросло в современных сложных системах.

Сугубо статический подход к составлению линейных календарных планов приводит к тому, что заложенные в них те или иные технические и организационные решения принимают застывшую форму и вскоре после начала

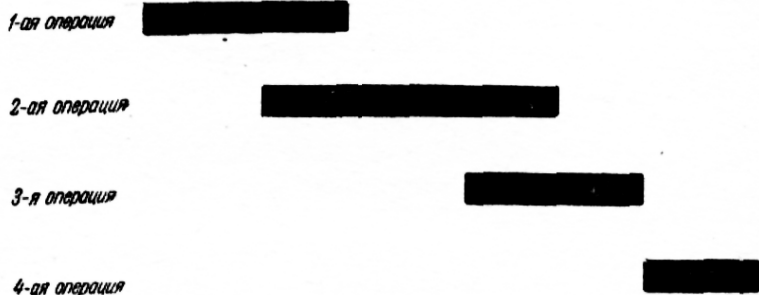


Рис. 2. Линейный график Ганта

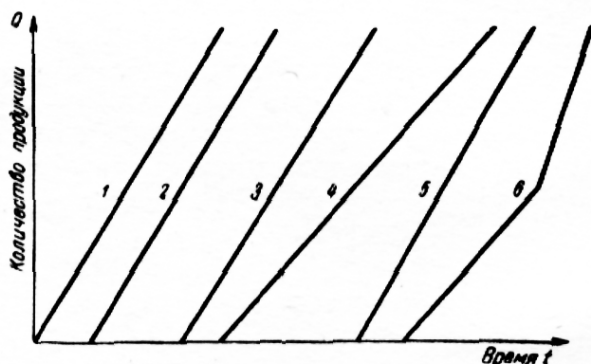


Рис. 3. Циклограмма выполнения шести процессов

реализации разработки перестают отражать фактическое состояние дела; график теряет свое практическое значение и становится нереальным.

Недостаточная гибкость линейной модели, трудность ее корректировки при изменившихся условиях, ограниченные возможности прогнозирования дальнейшего хода работ явились факторами, снижающими эффективность процесса управления.

Линейные модели, кроме того, не отражают той неопределенности, которая бывает присуща многим разработ-

кам. В таких разработках состав работ и сроки их выполнения, как правило, назначаются заранее, хотя в действительности предугадать их невозможно, так как эти работы ранее не выполнялись. В результате становится неизбежной последующая многократная корректировка модели — плана, сопровождающаяся большими трудностями и затратами времени.

В связи с этим перед наукой встала задача создать такую модель, которая позволяла бы с большим эффектом осуществлять планирование, координацию, контроль и собственно управление процессом создания сложных систем. В результате были созданы сетевые модели, свободные от указанных выше недостатков и легко поддающиеся обработке на ЭВМ.

Наибольшее развитие сетевые модели получили в США. Их практическое использование началось в середине 50-х годов разработкой системы СРМ (Critical Path Method) и системы PERT (Program evolution and review technique)¹, что в переводе означает «метод критического пути» и «техника обзора и оценки программ». Система PERT первоначально была применена при создании баллистических ракет «Поларис», предназначенных для оснащения атомных подводных лодок американского военно-морского флота. Некоторое время система PERT сохранялась в секрете. Однако, в связи с тем что в проектировании, расчете и создании ракеты «Поларис» участвовало свыше 6000 фирм, а работы выполнялись на территории 48 штатов Америки, долго сохранять все эти работы в секрете стало невозможным и метод решено было опубликовать. После этого первыми его применили строители при ремонте крупного завода. В настоящее время эта система применяется в большинстве капиталистических стран. В системе PERT были впервые наиболее полно сформулированы основные понятия сетевого метода.

Системы PERT и СРМ послужили основой для создания ряда модификаций сетевых методов, которых только в США насчитывается несколько десятков. Это методы Scans, Vames, TOPS, LESS, УМПАСТ, Comet и др. В ходе применения их возникла задача стандартизации

¹ В советской литературе сокращенное название системы принято обозначать русскими буквами — ПЕРТ.

и унификации всех этих методов. Многие фирмы стали выпускать специальные электронные машины применительно к той или иной разновидности системы ПЕРТ и других систем.

Преимущества системы ПЕРТ оказались настолько очевидными, что, например, в США ни одна строительная фирма не ведет строительства без применения этой системы или ее разновидностей и ни одна не получает правительственного контракта на выполнение новых заказов, если она не освоила систему ПЕРТ.

§ 2. Система СПУ и ее особенности

В условиях Советского Союза действует несколько измененная система ПЕРТ, получившая у нас название системы СПУ (Сетевое планирование и управление), являющаяся частью общей системы организационного управления.

Систему СПУ нельзя рассматривать по аналогии с системой ПЕРТ только как метод анализа и оценки плана. Это развитая система планирования и управления, предусматривающая выявление и использование резервов времени и материальных ресурсов, прогнозирование и предупреждение возможных срывов в ходе выполнения программы.

Система СПУ — это комплекс расчетных методов, организационных мероприятий и контрольных приемов.

Среди других методов организационного управления, применявшихся в Советском Союзе, таких, как система АСОР (автоматизированная система организации разработок), СУР (система управления разработками), ЦПК (централизованное планирование и контроль) и др., система СПУ является универсальной и получившей наибольшее распространение. Она охватывает три основных этапа планирования и управления. На первом этапе производится разработка первоначального исходного сетевого плана, на втором — выполняется его оптимизация и приведение в соответствие с заданными ограничениями; на третьем — осуществляется оперативное управление и систематический контроль за ходом производства.

В Советском Союзе сетевые методы впервые нашли применение в строительстве при сооружении комплекса карбамида и ТЭЦ в Лисичанске, Бурштынской тепловой

электростанции, Челябинского блюминга-автомата, Смоленского электролампового завода и др.

Сетевой график успешно был использован при ремонте мартеновской печи завода «Серп и молот», при реконструкции доменной печи в «Запорожстали».

В настоящее время все большее и большее число строк, предприятий, научно-исследовательских и проектных организаций страны переключается на планирование и оперативное управление крупными инженерными и хозяйственными комплексами операций по системе СПУ.

Одна из специфических особенностей системы СПУ — использование новой, весьма совершенной формы представления плана. Взамен обычной табличной или линейной формы представления плана предлагается более обозримая сетевая схема, которая не только значительно облегчает восприятие ее существа, но и весьма упрощает весь последующий процесс по руководству системой при ее реализации. Сетевая схема дает гораздо больше информации, чем линейные календарные графики.

Система СПУ может быть распространена на несколько организаций одновременно, если все они связаны договорами или директивными решениями и работают над достижением одной цели. В этом случае сетевой план одной организации может быть частью общего плана, построенного и контролируемого высшей инстанцией.

Основными характерными чертами системы СПУ является высокая объективность планирования и управления, большая оперативность и создание условий для быстрого и эффективного руководства. Высокая объективность достигается благодаря точному корректированию выполнения плана по ходу работ, возможности пересматривать принятые решения с учетом фактического положения дел, получать прогнозы на будущее, предусматривать дальнейшее развитие событий, предвидеть возможные отклонения от графика, влияние этих отклонений на выполнение последующих работ и на конечный срок.

Система СПУ позволяет количественно измерить меру неопределенности, присущей всякой новой разработке.

При управлении сложными разработками руководителям приходится сталкиваться с большим количеством неожиданностей, которые трудно заранее предусмотреть,

в связи с чем решения приходится принимать по ходу разработки.

Система СПУ заставляет руководителя сосредоточивать свое внимание и усилия на тех участках, которые в данный момент являются «узким местом», грозят срывом конечного срока выполнения плана и требуют срочного исправления создавшегося положения. Вместе с тем остальные работы хотя и не отвлекают внимания руководителя, но и не выходят из-под его контроля.

Система СПУ помогает руководителям отделять главные вопросы от второстепенных и четко определять задачи, решаемые на каждом уровне руководства.

Управление в системе СПУ опирается на специально создаваемый поток текущей информации, непрерывно или периодически поступающей в распоряжение руководителя.

Обработка информации на электронных машинах повышает оперативность управления и исключает получение неверных или неудовлетворительных оценок, так как последние быстро выявляются системой. Обмен информацией в системе СПУ обеспечивает выработку эффективного решения на всех уровнях. Получение правильного решения обеспечивается возможностью проверить на ЭВМ те или иные предложения об изменении сроков и технологической последовательности выполнения отдельных операций, о перераспределении ресурсов и пр.

Хотя сетевые методы планирования и управления предусматривают широкое использование ЭВМ, однако сети небольшого объема с успехом могут обрабатываться вручную или с использованием счетно-клавишных машин. Указанное обстоятельство значительно расширяет круг применения системы, так как при этом разработчики не находятся в зависимости от вычислительных центров. При больших масштабах разработки применение ЭВМ является обязательным и дает весьма высокий экономический эффект.

По подсчетам зарубежных экономистов, затраты на обслуживание управляемой системы составляют от 0,1 до 0,5% стоимости разработки, а для более сложных систем 2—3%. Численность групп, обслуживающих систему, составляет в среднем четыре — восемь человек в зависимости от масштаба и сложности разработки.

Методы сетевого планирования и управления нельзя

признать окончательно сформировавшимися, а сетевые модели идеальными, поскольку они не исключают влияния субъективных оценок и не обеспечивают математически оптимального решения задач, возникающих в процессе планирования, организации и контроля производственной деятельности. Они пока не дают возможности вести управление на основе единого обобщающего критерия, учитывающего всю совокупность параметров управления — времени, стоимости, ресурсов и технико-экономических показателей, хотя и на данной стадии сетевые графики позволяют существенно улучшить показатели работы за счет дополнительного изыскания резервов времени, материальных и трудовых ресурсов.

§ 3. Основные понятия и элементы сетевой модели комплекса операций

В основе системы сетевого планирования и управления лежит сетевая модель — графическое изображение плана, которое получило в литературе название сетевого графика, стрелочной или логической диаграммы, графа сети, карты хода разработки и др. В дальнейшем изложении мы будем придерживаться первого наименования.

Сетевой график представляет собой схему, на которой в определенном порядке наглядно показаны все операции по созданию сначала промежуточной продукции с определенной степенью готовности, а под конец — полное завершение разработки, т. е. достижение конечной цели.

По внешнему виду сетевой график представляет собой сеть, состоящую из отдельных нитей и узлов, отражающих логическую взаимосвязь и взаимообусловленность всех операций, входящих в общий комплекс (рис. 4).

В основу построения сети закладываются три основных понятия: *работа*, *событие* и *путь*.

Под термином *работа* следует понимать прежде всего любой трудовой процесс, сопровождающийся затратами времени и ресурсов, например устройство фундаментов под стены здания, монтаж двигателя, проектирование какого-либо узла машины, испытание установки и т. д.

В понятие *работа* входит также и *ожидание*, т. е. пассивный процесс, не требующий затрат труда и материальных ресурсов, но отнимающий время. К таким процес-

сам можно отнести технологические перерывы, например твердение бетона в строительстве и др.

И, наконец, под *работой* подразумевают простую *зависимость*, т. е. логическую связь между двумя или большим числом операций.

Иногда эту *зависимость* называют *холостой* или *фиктивной работой*, так как она не требует никаких затрат — ни времени, ни труда, ни средств.

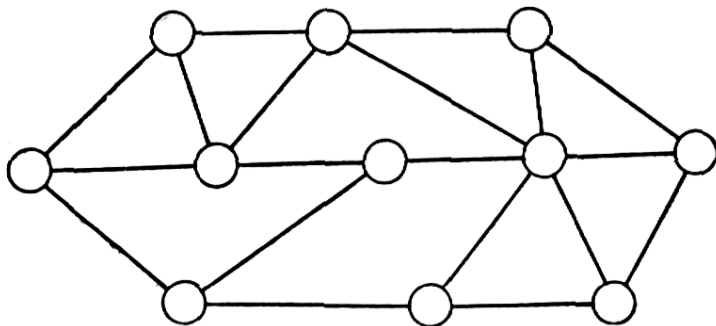


Рис. 4. Пример сетевой схемы

Событие представляет собой итог какой-то деятельности, промежуточный или окончательный результат выполнения одной или нескольких предшествующих работ, позволяющий приступить к выполнению последующих работ. Например, «котлован выкопан», что позволяет приступить к монтажу фундаментов, или «фундаменты возведены», что дает возможность приступить к монтажу технологического оборудования. Таким образом, событие можно рассматривать как определенную стадию выполнения программы, как ее промежуточный этап.

Событие в отличие от работы не является процессом. Оно не имеет длительности, так как совершается мгновенно, и не сопровождается затратами времени и средств.

На сетевом графике события изображаются кружками с порядковым номером, действительные работы и ожидания — сплошными стрелками, а *зависимость*, или *фиктивные работы* — пунктирными стрелками (рис. 5). Стрелки не являются векторами, они вычерчиваются без масштаба, их длина и направление произвольны, хотя на чертеже они располагаются в таком порядке, который указывает на определенную последовательность выполнения операций.

Взаимосвязь кружков и стрелок, являющихся графическими символами сетевой модели, должна осуществляться по определенным правилам.

Любая работа-стрелка соединяет только два события и отражает процесс перехода от одного события к другому. Событие, из которого стрелка выходит, называется

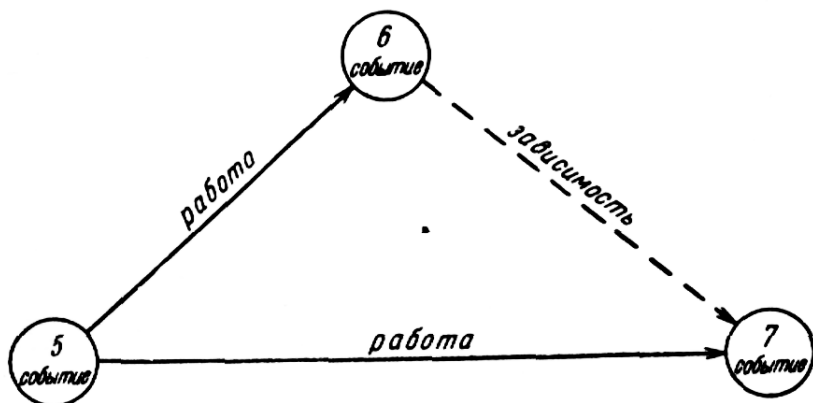


Рис. 5. Элементы сетевой схемы

начальным или *предшествующим* по отношению к данной работе. Событие, в которое стрелка входит, является *конечным*, или *последующим*. Одно и то же событие (кроме начального и конечного) одновременно является и предшествующим, и последующим (рис. 6). Начало стрелки показывает, с какого события дан-

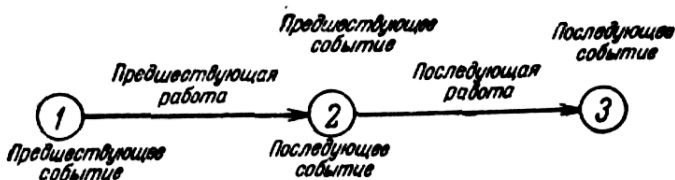


Рис. 6. Предшествующие и последующие события и работы

ная работа начинается, а конец стрелки, — в каком событии она заканчивается. Поэтому любая работа может быть обозначена номерами двух событий. Если работа выходит из события 5, а входит в событие 6, то она обозначается шифром 5—6.

Переход от одной работы к другой возможен лишь после получения какого-то результата, т. е. свершения события, стоящего у начала работы.

Все события в свою очередь связываются между собой в соответствии с последовательностью выполнения работ. В одно и то же событие может входить несколько работ, так же как и выходить из него. Таким образом, свершение события может зависеть от одной, двух и более работ, в него входящих. Любое событие, фиксирующее момент окончания одной или нескольких работ, одновременно является началом другой работы или группы работ. С этой точки зрения все события разделяются на *простые* и *сложные*, или *узловые*. Первые имеют только одну входящую и только одну выходящую работы. Вторые имеют несколько входящих и выходящих работ. Выделение простых и сложных событий играет определенную роль при расчете сетевого графика.

Первое событие, которому не предшествуют никакие работы, называется *исходным*, оно определяет начало выполнения программы. Последнее событие, обуславливающее достижение конечной цели (например, ввод здания в эксплуатацию), называется *завершающим*, оно не имеет никаких последующих работ. Все остальные события считаются *промежуточными*.

Все работы, входящие в сетевой график, имеют временные оценки, так как на их выполнение затрачивается время, измеряемое в днях, неделях, месяцах, а в отдельных случаях и в часах.

Все работы, предусмотренные сетевой схемой, как правило, различны по своему характеру, следовательно, и продолжительность их выполнения будет также при прочих равных условиях разной. В связи с этим событие считается свершившимся только тогда, когда будет закончена самая длительная из всех входящих в него работ.

Продолжительность работ обычно пишут над стрелкой или под ней, а наименование работ записывают или в специальной таблице в соответствии с принятым кодом, или проставляют непосредственно на самом графике над стрелкой.

~ *Путь* представляет собой непрерывную технологическую последовательность работ (цепь) от исходного события до завершающего. Такой путь называется *полным*. При этом понятие *путь* распространяется на любую по-

следовательность работ по направлению стрелок. Для определения правильности построения сети следует иметь в виду, что ни один путь, составленный из нескольких работ, не проходит дважды через одно и то же событие.

• Длина пути определяется суммой продолжительности лежащих на нем работ.

Таких путей в сетевом графике может быть несколько. В отдельных случаях их число достигает значительной величины. В отличие от полных путей имеются еще и *укороченные* пути, которые отсчитываются или от начала сети до данного события, или от конца ее до этого же события. В том и другом случае они представляют собой части полного пути.

• В результате сравнения многих полных путей (в дальнейшем для краткости будем называть их просто путями) выявляется такой, суммарная продолжительность работ на котором имеет максимальное значение. Этот путь принято называть *критическим путем*. Он определяет время, необходимое для выполнения программы всех работ, включенных в сетевой график. Все работы, лежащие на критическом пути, являются критическими и от их продолжительности зависит конечный срок выполнения программы. Естественно, что сокращение или увеличение продолжительности критических работ соответственно сокращает или увеличивает общую продолжительность выполнения программы.

• Все критические работы являются потенциально «узкими местами» плана со всеми вытекающими отсюда последствиями — авралами, штурмовщиной и срывами. Руководители производства, зная заранее о таких работах, могут заблаговременно принять соответствующие меры.

• Следует отметить, что в сетях возможно существование нескольких критических путей с одинаковой длительностью. Пути, имеющие продолжительность меньше критической, но близкие к ней, называют подкритическими или субкритическими. Их также может быть несколько. Все остальные пути (а их большинство) могут иметь продолжительность намного меньше критического пути, их принято называть *ненапряженными* или *некритическими*.

• Работы, находящиеся на критическом пути, обычно выделяются жирными или двойными стрелками. Возмож-

ность в наглядной форме представить именно ту последовательность работ, которая определяет общий срок выполнения программы, является одним из самых крупных преимуществ сетевых графиков по сравнению с графиками других типов.

Наличие критического пути позволяет использовать его в качестве основы для оптимизации плана. Например, чтобы сократить срок создания нового объекта, необходимо принять меры, позволяющие уменьшить продолжительность выполнения не всех работ, а только работ, находящихся на критическом пути. Выполнение всех остальных работ, не лежащих на критическом пути, можно замедлить или ускорить в определенных пределах, и это никак не отразится на конечном сроке завершения программы.

Указанное обстоятельство объясняется тем, что все работы, не лежащие на критическом пути, обладают некоторыми *резервами времени*, которые являются также не менее важными показателями работы сети. Под резервами времени понимаются допустимые сдвиги сроков свершения событий и выполнения работ, не меняющие срока завершающего события.

Наличие запаса времени имеет большое практическое значение, так как позволяет руководителям свободно маневрировать внутренними ресурсами. По ходу выполнения программы в пределах имеющегося запаса можно увеличивать продолжительность некритических работ и передавать освободившиеся людские ресурсы и технические средства на работы, находящиеся на критическом пути, от которых по состоянию на данный день зависит выполнение плана.

Следует иметь в виду, что сокращение сроков выполнения критических работ может привести к возникновению нового критического пути, в то время как первоначальный путь перестанет быть критическим.

Установлено, что критический путь содержит сравнительно небольшое количество работ относительно их общего числа, предусмотренного сетевым графиком. Чем сложнее сеть, чем больше в ней событий и работ, тем меньше удельный вес критических работ по отношению к их общему количеству (табл. 1).

Обсчет сетей небольшого объема, содержащих до 150 событий, чаще всего выполняется вручную.

Таблица 1

Количество работ в сети	Количество работ, лежащих на критическом пути	Удельный вес критических работ, %
10	3—4	30—40
100	12—15	12—15
1 000	70—80	7—8
5 000	150—160	3—4

Наибольшее распространение, однако, получили сети среднего объема с числом событий от 200 до 1000, обсчет которых выполняется, как правило, на ЭВМ.

Примером таких сетей могут служить сетевые графики на строительство Смоленского электролампового завода с числом событий 350, комплекса цехов серной кислоты Новокемеровского химкомбината с числом событий 804, производственного комплекса карбамида Лисичанского химического комбината при числе событий 760. Существуют сети весьма большого объема с числом событий до 10 000 и более, характерные для весьма крупных комплексов. Упомянутая выше разработка ракеты «Полярис» содержала свыше 10 000 событий.

Следует учитывать, что сетевые схемы большого объема трудно обозримы, в связи с чем при крупных разработках рекомендуется составлять несколько сетей.

Установлено, что на листе бумаги размером $1,5 \times 2$ м можно разместить сетевой график, включающий до 1000 событий.

Анализируя сетевые графики, можно заметить, что они отличаются не только количеством событий, но и числом взаимосвязей между ними. Оказывается, что число работ между событиями имеет большое значение для составления сетевых графиков и их обработки на ЭВМ. Чем больше взаимосвязей, тем сложнее график. Сложность графика принято оценивать коэффициентом сложности, представляющим отношение количества работ к количеству событий.

Сетевые графики, характеризуемые коэффициентом сложности 1—1,2, являются простыми, с коэффициентом 1,5 — средней сложности и с коэффициентом 2 — сложными (рис. 7).

Количество работ в сетевом графике зависит от степени его детализации, определяемой объемом и сложностью разработки, возможностями вычислительной машины и структурой руководства. Чем выше уровень руководства, тем меньше мелких деталей и подробностей.

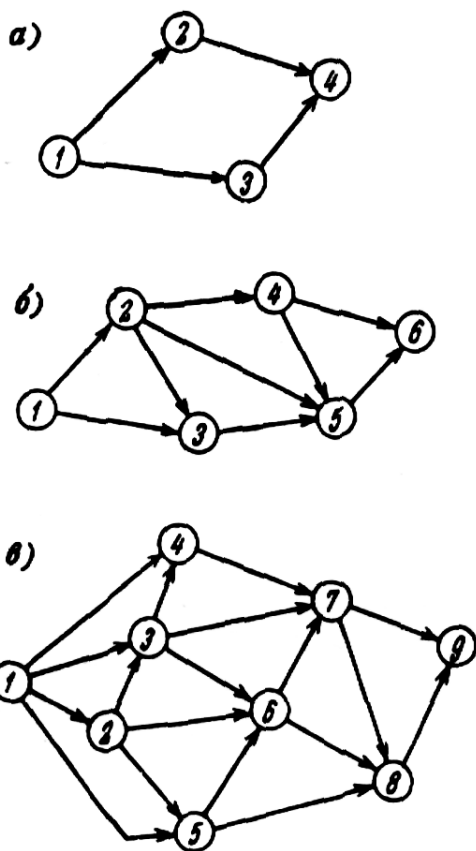


Рис. 7. Простые и сложные сети:
а) $K_c = 1$; б) $K_c = 1.5$; в) $K_c = 2$

При каждой степени детализации стрелка отражает определенный объем работ.

Для программы среднего размера с числом событий до 200 составляется обычно одна общая достаточно подробная сеть. Для сложных программ, в выполнении которых участвуют многие самостоятельные организации, составляется несколько сетей разного масштаба. В таких случаях обычно предусматриваются три степени детализации сети для отображения одного и того же комплекса.

Сети первой степени детализации разрабатываются укрупненно и служат для отображения общей структуры и установления хода разработки. Они предназна-

начены главным образом для высшего уровня руководства, осуществляющего координацию работ научно-исследовательских, проектных, снабженческих, промышленных и других организаций. В сетях, получивших название сводных, работы-стрелки отображают целые подкомплексы операций в масштабе отдельных организаций.

На основе сводного графика составляются сети второй степени детализации для среднего уровня руководст-

ва, отвечающего за выполнение определенных частей разработки. Такие сети, получившие название частных или локальных сетей, предусматривают совокупность работ, выполняемых подразделениями — субподрядными организациями. Естественно, что эти графики разрабатываются более подробно, хотя и в них каждая стрелка может содержать несколько операций или работ, объединенных в одну.

Сетевые графики среднего уровня руководства по такому же принципу дробятся на более мелкие первичные сетевые графики, предназначенные для низшего уровня руководства. Эти графики предусматривают дальнейшую детализацию событий и работ до технологически нерасчленяемого процесса. Таким образом, пределы детализации определяются технологией работ и границами ответственности исполнителей. Введение промежуточных событий, за счет которых и проводится детализация, происходит тогда, когда меняется характер выполнения работы или меняется ответственный исполнитель. Чем более детализирована сеть, тем конкретнее определена каждая работа, тем проще ее оценить и проконтролировать по ходу выполнения разработки. Но детализированная сеть по своей структуре может существенно отличаться от исходной, укрупненной сети вследствие наличия значительного числа дополнительных связей и событий. События, расположенные на границе локальных и первичных сетей, называются *граничными* или *переходными*.

Представляет интерес составление сети по комбинированной схеме, когда работы ближайшего периода детализируются с большей степенью, а работы отдаленного периода — с меньшей. По мере выполнения комплекса работ законченные операции свертываются, а приближающиеся детализируются.

Существуют также и несколько модификаций графического изображения сети. Согласно первой разновидности над стрелками проставляют наименование работ, а событиям присваивают только порядковый номер. Такая сеть считается ориентированной на работы. Вторая разновидность сети предусматривает ориентацию на события. На схеме проставляют наименование событий, а стрелки остаются немymi и указывают только на связь событий между собой. Третья разновидность предусмат-

ривает совместную ориентацию. На схеме проставляется наименование событий и работ.

Сети второй и третьей разновидности находят применение при сложных разработках с целью информации высшего руководства о выполнении определенных этапов работ (например, «блок смонтирован», «система опробована», «проектное задание разработано» и т. п.). Благодаря четкой фиксации отдельных событий такую информацию получить сравнительно легко. На основании этой сети составляется список работ, которые следует выполнить для достижения установленных событий.

Сеть, ориентированная на работы (первая разновидность), целесообразна при выполнении небольших и средних по объему программ. Она представляет технологическую модель процесса выполнения комплекса операций, лучше отражает последовательность и взаимосвязь между работами. Такая сеть особенно рекомендуется в начальный период освоения сетевых методов. В системе СПУ она также принята за основу, поэтому все дальнейшие выкладки по построению и расчету осуществляются на сетях этой разновидности.

§ 4. Правила построения сети

Приступая к построению сети, следует вначале установить:

какие работы должны быть завершены ранее, чем начнется данная работа;

какие работы могут быть начаты после завершения данной работы;

какие работы могут выполняться одновременно с данной работой.

Порядок построения сети может быть разный, но в целях типизации лучше придерживаться ряда общих положений и правил.

Сеть вычерчивается слева направо. Каждое событие с большим порядковым номером изображается правее предыдущего. Рекомендуется нумерацию событий осуществлять после построения сети. Работы-стрелки могут иметь произвольную длину и наклон, но все же им следует придавать общее направление тоже слева направо. Необходимо по возможности избегать взаимного пересе-

чения стрелок, лучше несколько сместить событие или изобразить стрелку в виде ломаной линии (рис. 8).

При построении сети первоначально составляется черновой вариант, обычно не упорядоченный и неполный. Внешнему виду сети при этом не уделяется особого внимания. В связи с этим взаимное расположение событий может оказаться неудачным и сеть будет чрезмерно сложной. На рис. 9, а приведен пример неудачного изображения сети, а на рис. 9, б показана эта сеть после ее упорядочения. В процессе упорядочения сети в нее добавляются все «забытые» и неучтенные работы и взаимосвязи.

При построении сетевой схемы очень часто приходится использовать некоторые технические приемы. Наиболее распространен случай, когда две или более работ имеют общее начальное и конечное событие, следовательно, они выполняются совмещенно, хотя и необязательно одновременно, так как обе работы имеют различную продолжительность (например, санитарно-технические и электромонтажные работы в жилом или общественном здании, которые обычно выполняются после готовности каркаса или стен, а заканчиваются к моменту начала отделочных работ). Учитывая, что любая работа может соединять только два события, параллельные работы следует изображать, вводя промежуточные события и холостые связи (рис. 10). При этом совершенно безразлично, будет ли холостая связь следовать до или после действительной работы. На сетевом графике изображаются не только взаимосвязи отдельных производственных операций, включая и технологические перерывы, но также и всевозможные поставки материально-технических ресурсов и технической документации.

Внешние поставки принято изображать стрелкой, идущей от двойного кружка с нулевым обозначением к событию, с которого начинается потребление поставляемого материала, изделия или оборудования (рис. 11, а).

Если от данного события начинается несколько работ, например 5—6 и 5—7, а соответствующая поставка предназначена только для работы 5—6. В этом случае подвести стрелку от события с двойным кружком к событию 5 нельзя (рис. 11, б), необходимо ввести промежуточное событие 5 и фиктивную связь 5—6' (рис. 11, в).

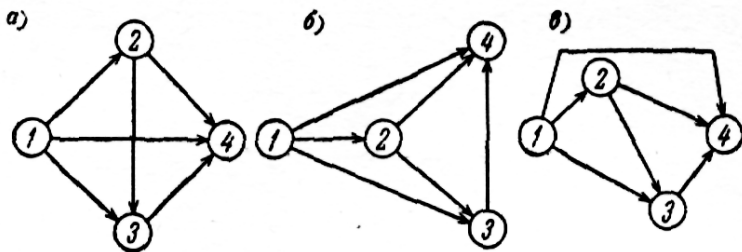


Рис. 8. Способы начертания сетей:
а) *нерекомендуемый*; б) и в) *рекомендуемые*

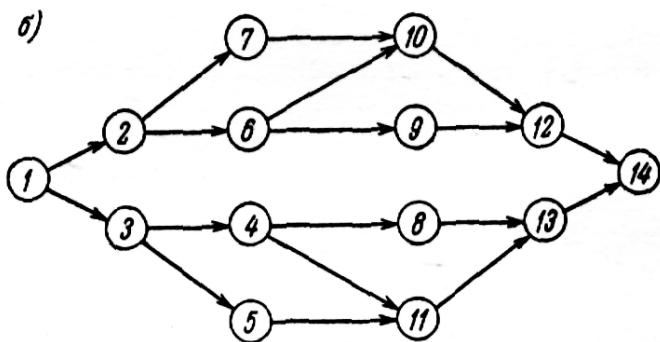
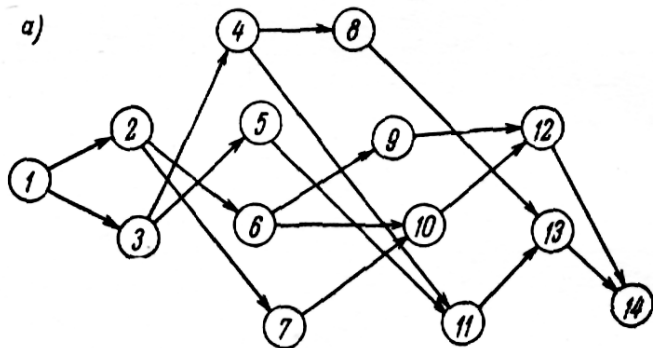


Рис. 9. Пример неупорядоченного и упорядоченного графика:

а) *неупорядоченный*; б) *упорядоченный*

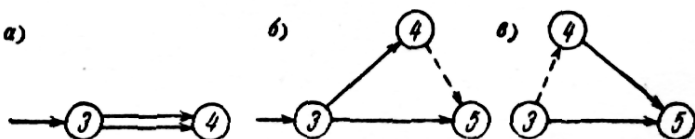


Рис. 10. Изображение параллельных работ:
а) *неправильное*; б) и в) *правильное*

При построении сетевых графиков часто приходится одновременно отражать не только технологические, но и организационные связи. Зависимость организационного характера выражается в последовательном переходе рабочих бригад и переброске оборудования с участка на участок. Указанную зависимость легко проследить на примере. Предположим имеются три работы (A , B , B —

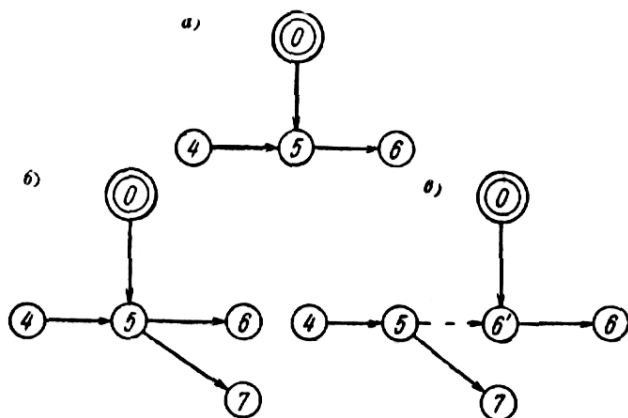


Рис. 11. Изображение внешних поставок:
 а) и в) правильное; б) неправильное

разработка траншей, устройство фундаментов и кладка стен), связанные между собой технологической последовательностью. При выполнении этих работ используем принцип совмещения, для чего организуем два участка, на которых рабочие определенных профессий последовательно выполняют соответствующие работы (рис. 12).

Начало процесса B_1 на участке I зависит только от окончания процесса B_1 на этом же участке, тогда как на схеме а) показано, что он зависит и от процесса A_2 участка II, что неправильно. На схеме рис. 12, б) фиктивные связи проведены верно. Они показывают переход одноименных рабочих бригад с участка I на участок II при выполнении процессов A_1 , B_1 и B_1 .

Односторонние связи между процессами изображаются на сетевом графике также введением фиктивной работы. Допустим, две работы a и b входят в событие 3 , от которого берет свое начало работа c , зависящая от работ a и b . Работа d в свою очередь зависит от работы b . Для того чтобы подобную ситуацию правильно изобра-

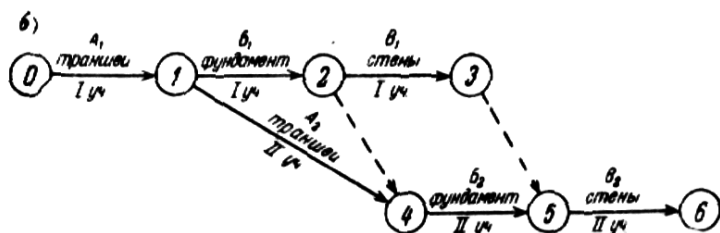
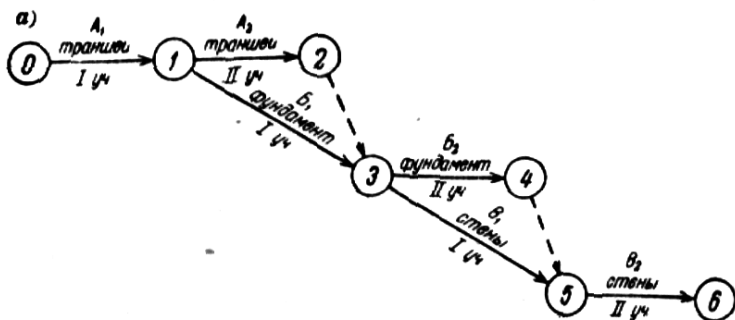


Рис. 12. Изображение совмещенного выполнения трех процессов:
а) неправильное; б) правильное

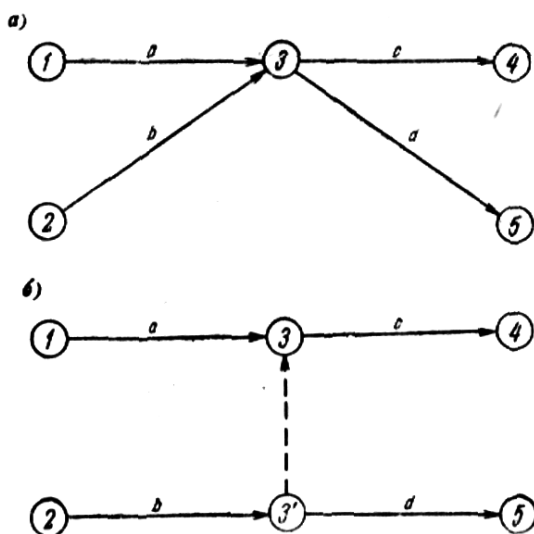


Рис. 13. Изображение односторонней связи с фиктивной работой:
а) неправильное; б) правильное

зять на сетевом графике, нужно ввести дополнительное событие Z' и фиктивную связь (рис. 13). Задачи подобного рода встречаются довольно часто при построении сетевых графиков и во избежании ошибок требуют от составителя пристального внимания.

Рассмотрим еще один пример. Предположим, имеется пять работ (a, b, c, d, e), связанных между собой следующей зависимостью. Работа c начинается после окончания работ a и b , а работа e — после окончания работ b и d .

Графически эту взаимосвязь следует изобразить так, как показано на схеме а) рис. 14, но не так, как на схеме б).

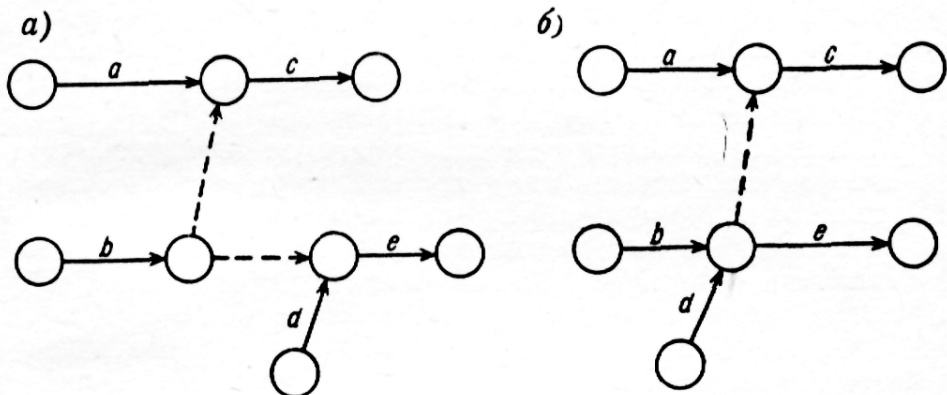


Рис. 14. Примеры построения фрагментов сетей:

а) правильное; б) неправильное

ме б), на которой работа c зависит не только от работ a и b , но еще и от работы d , что противоречит условию.

Более сложная зависимость с двусторонней связью может возникнуть при условии, если последующие работы начинаются до полного окончания предшествующей работы.

В этом случае каждая работа может быть представлена как сумма последовательно выполняемых одноименных работ. Предположим, что из трех процессов A, B и C первые два развиваются самостоятельно и независимо друг от друга, а третий выполняется по мере окончания первых двух. Представим каждый процесс как сумму одноименных работ, последовательно выполняемых на трех участках, а именно:

$$A = a_1 + a_2 + a_3; \quad B = b_1 + b_2 + b_3; \quad C = c_1 + c_2 + c_3.$$

Зависимость процесса C от A и B показана на рис. 15 двусторонней холостой связью.

Аналогичное положение возникает при большом числе процессов и поточном их выполнении на нескольких участках (рис. 16). Неправильность построения графика (схема a), часто встречающаяся на практике, заключается в том, что начало выполнения 3-го или 4-го процессов на участках I или II зависит не только от окончания предшествующих процессов на данном участке, но и от окончания их на последующих участках — II и III, что неверно. Чтобы правильно отразить технологические и организационные связи, следует ввести промежуточные события (схема b , которую можно упростить, уменьшив число событий и холостых связей — схема $в$). Указанным приемом часто пользуются на практике.

Вводя в сеть холостые связи, следует учитывать, что они (их количество и направление) могут оказать существенное влияние на длину критического пути. Это можно проследить на простом примере. Предположим, имеется сеть из четырех событий, четырех работ и одной холостой связи от события 2 к событию 3 (рис. 17, a). Критический путь проходит по событиям 1, 3, 4 и равен $9+7=16$ дням. Холостая связь в этом случае не оказывает на него никакого влияния, так как путь через нее будет меньше критического ($5+0+7<16$). На рис. 17, b представлен аналогичный фрагмент сетевого графика с такими же временными оценками, но с холостой связью противоположного направления. Критический путь в этом случае изменится и пройдет через холостую связь ($9+0+8=17>16$).

При построении сети обращается внимание на недопустимость в сетевом графике замкнутых контуров, когда стрелки возвращаются к тому же событию, из которого вышли. Если таковые обнаружатся, это свидетельствует об ошибке в исходных данных или о небрежном построении сети. Все события сетевого графика должны быть связаны между собой сплошными или пунктирными стрелками. Если окажутся какие-либо события и работы, не связанные с конечным событием, значит, они к данной разработке отношения не имеют.

При построении сети нельзя допускать «тупиков», т. е. событий, из которых не выходит ни одной работы, например событие 5 на рис. 18.

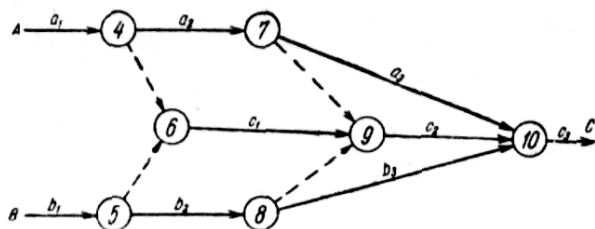


Рис. 15. Схема двусторонней связи

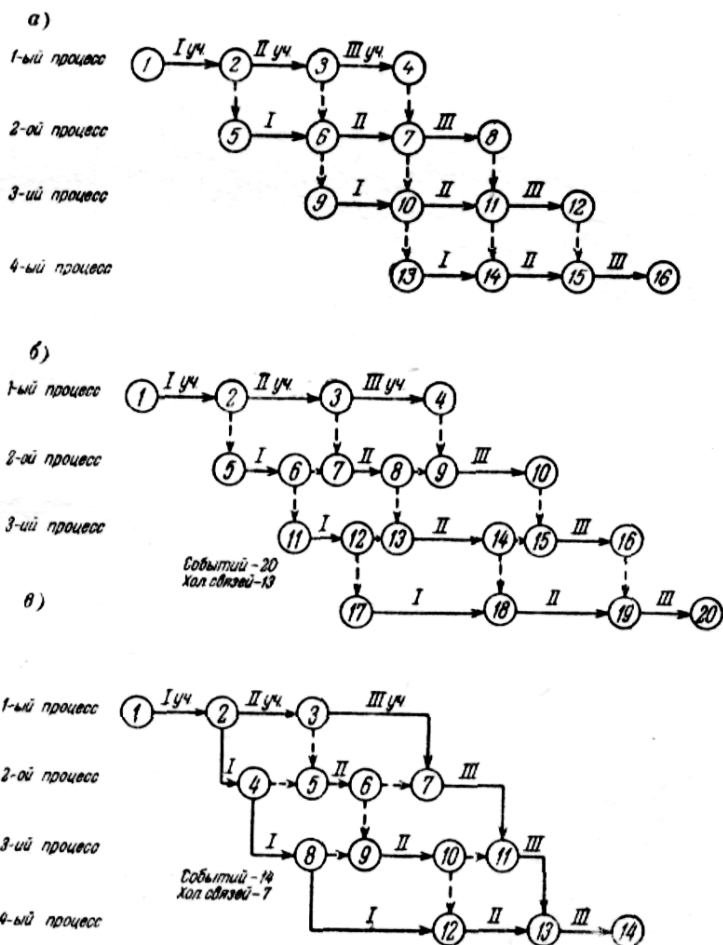


Рис. 16. Сетевой график поточного выполнения четырех процессов на трех участках:
а) неправильный; б) и в) правильный

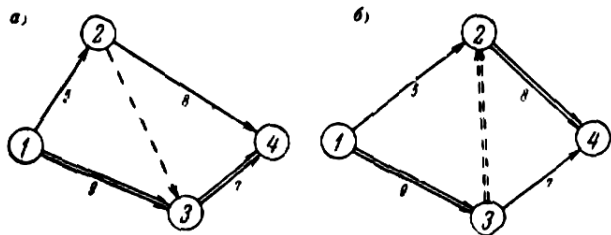


Рис. 17. Влияния направления холостой связи на длину критического пути:

а) холостая связь одного направления; б) холостая связь против положительного направления

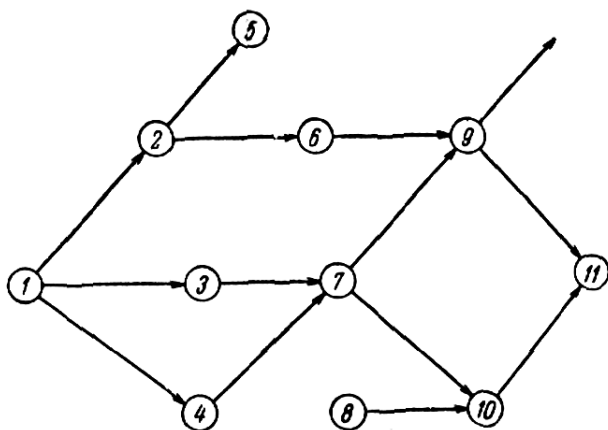


Рис. 18. Сетевой график с «тупиковым» и «хвостовым» бытиями

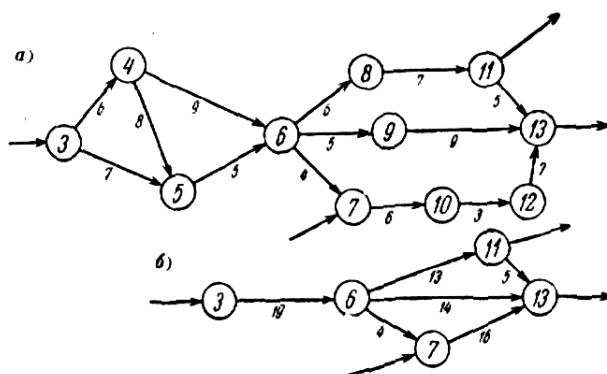


Рис. 19. Укрупнение и упрощение группы работ
а) до укрупнения; б) после укрупнения

Точно также в сети не должно быть «хвостовых» событий, в которые не входит ни одна работа, например событие 8 на рис. 18, если только эти события не являются для данной сети исходными. Наличие таких событий также свидетельствует об ошибке в построении сети.

Стрелки работ не могут своим концом повисать свободно, подобно работе, выходящей из события 9 (рис. 18).

В ряде случаев, если сетевой график охватывает большой комплекс работ, бывает целесообразно произвести его укрупнение путем замены совокупности однородных работ одной составной работой. Такая возможность представляется при условии, если какая-то группа работ имеет одно начальное и одно конечное событие, например группа работ между событиями 3 и 6 (рис. 19). Временная оценка при этом проставляется по наибольшему пути. Можно также и частично упростить сетевой график между событиями 6 и 13, но при этом события 7 и 11 должны быть сохранены в укрупненной сети, так как они связаны с другими событиями, не имеющими отношения к данной совокупности работ.

Приведенный пример иллюстрирует прием укрупнения сети, широко используемый при последовательном переходе от сетей низшего уровня к сетям высшего уровня. Необходимо помнить, что, укрупняя сеть, нельзя вводить в нее событие, которого нет в детальных сетях. Граничные события, принадлежащие разным сетям, должны обязательно иметь одинаковые определения и один и тот же номер. Рекомендуются укрупнять такие работы, которые закреплены за одним ответственным исполнителем или подразделением.

Каждый исполнитель формирует сеть на отведенный ему подкомплекс операций. При этом в сети одного подразделения появляются события, в которых нуждаются другие подразделения, и наоборот. Таким образом, возникает необходимость объединения первичных сетей.

Процесс объединения многих сетевых графиков в один общий носит название «сшивания сетевого графика». При «сшивании» выявляются и устраняются все случаи несогласованности между отдельными участками сети путем опроса заинтересованных ответственных исполнителей.

Процедуру «сшивания» сети можно проследить на простейших примерах. Предположим, двум ответствен-

ным исполнителям поручено составить первичные сетевые графики на соответствующие подкомплексы операций, находящихся в их ведении.

Для этой цели первоначально устанавливаются граничные события, общие для обеих сетей. Такими являются события 5 и 15 (рис. 20, а), которые будут служить на-

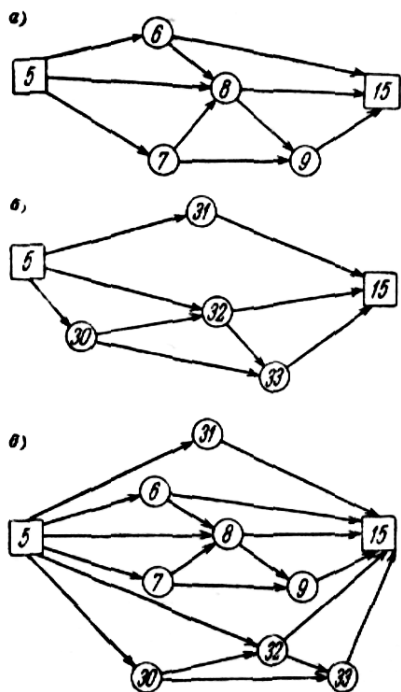


Рис. 20. «Сшивание» сети:
а) сеть № 1; б) сеть № 2; в) сводная «сшитая» сеть

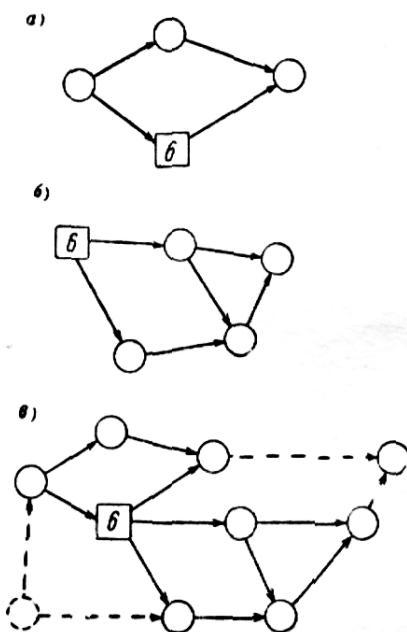


Рис. 21. «Сшивание» сетей с введением искусственных событий (исходного и завершающего):

а) сеть № 1, б) сеть № 2; в) сводная «сшитая» сеть

чалом и концом в каждом сетевом графике. Нумерацию всех остальных событий исполнители ведут самостоятельно и независимо друг от друга (рис. 20, б). Затем обе сети объединяются в одну, имея в качестве общих событий 5 и 15 (рис. 20, в).

В процессе «сшивания» сетей может производиться частичное укрупнение работ, так как детали отдельных частных задач могут не иметь существенного значения

для более высокого уровня руководства. В нашем примере сеть *a*) можно было бы упростить, заменив всю совокупность работ одной работой.

В отдельных случаях, когда граничным событием является одно событие *b* (рис. 21), может оказаться целесообразным ввести дополнительно искусственное исходное и завершающее события, отмеченные пунктирными кружками. Этот прием носит формальный характер, но имеет существенное значение для последующих расчетов сети.

Нумерация событий по каждому первичному или частному графику первоначально применяется своя. С этой целью каждой организации выделяется определенное число номеров. Например, одна организация нумерует события своего участка сети в пределах от 0 до 100, для другой устанавливается диапазон от 101 до 150, для третьей — от 151 до 200 и т. д. При этом совершенно необязательно, чтобы все числа были бы полностью использованы при нумерации соответствующего комплекса работ. Число событий может оказаться меньше запланированного числа номеров.

В процессе «сшивания» сети внутри события первоначально дробью проставляется два номера, сверху старый, а снизу новый порядковый номер сводной сети (рис. 22).

За последнее время все чаще и чаще отказываются от «сшивания» сетей вручную. Эту работу также начали выполнять ЭВМ по специально разработанной программе. Граничные события отдельных сетей вводятся в «память» машины, которая и «сшивает» их, одновременно перенумеровывая.

Каждая специализированная организация, разрабатывая свой частный сетевой график, может принять и свои условные обозначения для событий. Вместо кружков могут быть приняты прямоугольники, квадраты, овалы, трапеции и др. Введение условных обозначений делает сводный сетевой график более наглядным и позволяет каждой организации быстро находить свои работы и их связи на общей сети. На рис. 23 показана упрощенная схема сетевого графика, в которой отражено участие четырех организаций: строительное управление (СУ № 1) в качестве генподрядчика и три субподрядных организации — электромонтажное управление (ЭМ-3), строитель-

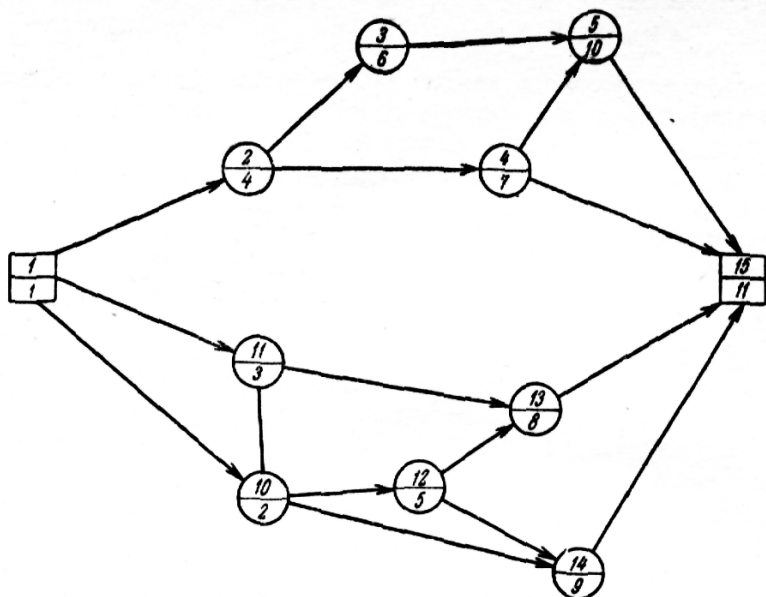
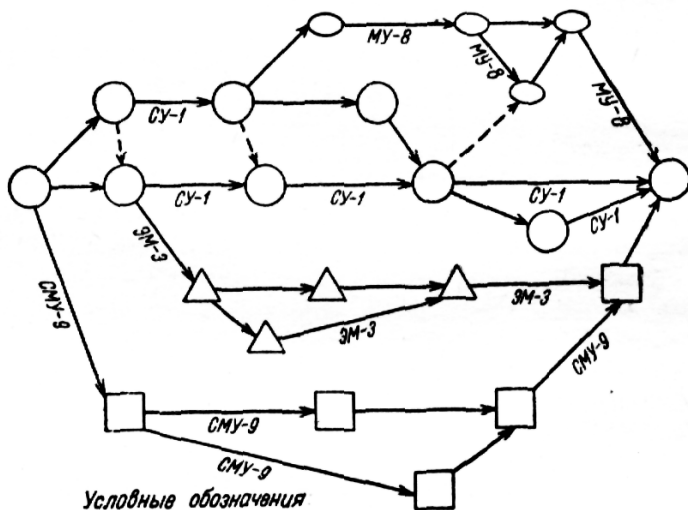


Рис. 22. Нумерация «сшиваемых» сетей



- Условные обозначения
- генподрядчик СУ-1
 - △ ЗМ-3
 - СМУ-9
 - МУ-8
- } субподрядчики

Рис. 23. Схема сводного сетевого графика с выделением субподрядных организаций

но-монтажное управление (СМУ-9) и монтажное управление (МУ-8).

Для ускорения процесса построения и вычерчивания сети, ее «сшивания» и последующего корректирования рекомендуется использовать целлулоидные трафареты с набором отверстий различной формы (в виде кружков, квадратов, овалов, треугольников) или набор резиновых штампов-печатей с деревянными ручками. Применение

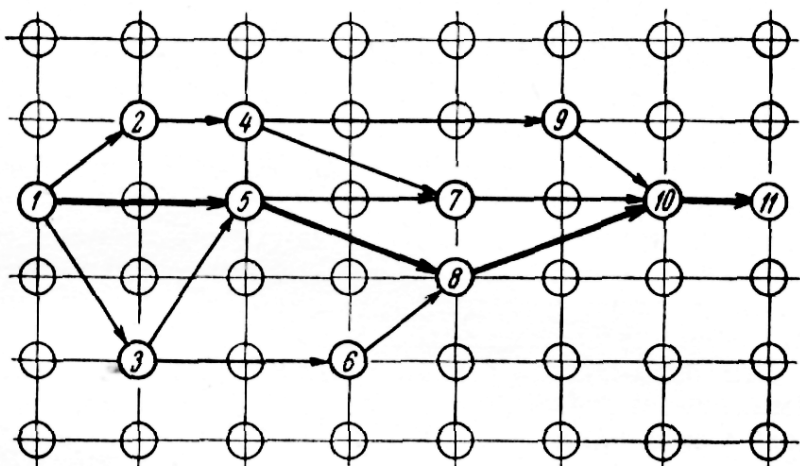


Рис. 24. Заготовочный чертеж с сетевым графиком

штампов позволяет отказаться от вычерчивания кружков и быстро печатать их с последующим внесением в них расчетных параметров сети.

В некоторых организациях при построении сетевых графиков используют заготовочные чертежи, напоминающие эскизы заклеечных соединений при рядовом, шахматном или других размещениях кружков (рис. 24).

Рекомендуется также применять макетный способ построения сети. На специальный перфорированный щит прикрепляются фишки-события с порядковым номером и работы-стрелки. Еще лучше для этой цели использовать стальные щиты с набором цветных магнитных элементов, снабженных номерами или описаниями,

Глава II

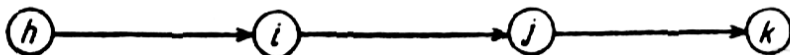
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВОГО ГРАФИКА

Расчет сетевого графика заключается в определении следующих его параметров: продолжительности критического пути и работ, лежащих на нем; наиболее ранних из возможных и наиболее поздних из допустимых сроков начала и окончания работ; всех видов резервов времени для работ, не лежащих на критическом пути.

Эти параметры рассчитываются различными способами: аналитическим (по формулам), табличным, графическим и с применением ЭВМ.

§ 1. Аналитический способ расчета

Аналитический расчет сетевого графика производится по формулам и непосредственно связан с определением понятий расчетных параметров сети и с расчетной схемой. За расчетную схему условно принимается сеть из четырех событий с буквенными обозначениями h , i , j , k и трех работ, заключенных между ними: $h-i$, $i-j$ и $j-k$ (рис. 25). За основную расчетную единицу принимается работа $i-j$, под которой в развернутой сети понимается любая работа. Работа $h-i$ предшествует работе $i-j$. Она может быть равна нулю, если работе $i-j$ не пред-



*$i-j$ — данная работа
 $h-i$ — предшествующая работа
 $j-k$ — последующая работа*

Рис. 25. Расчетная схема сетевого графика

шествует никакая работа, и может быть равна сумме работ, считая от начального (исходного) события до события i по ходу стрелок. Работа $j-k$ является последующей работой. Она также может быть равна нулю, если работа $i-j$ является последней, т. е. входящей в завершающее событие, и может равняться сумме работ, считая от конечного (завершающего) события до события j .

При расчете сетевого графика применяются следующие обозначения расчетных параметров:

- t_{i-j} — продолжительность данной работы;
- t_{j-k} — продолжительность последующей работы;
- $t_{кр}$ — продолжительность критического пути;
- $t(L_n)$ — продолжительность любого пути;
- t_i — время свершения предшествующего события;
- t_j — время свершения последующего события;
- t_i^p — раннее свершение события;
- t_i^n — позднее свершение события;
- $t_{i-j}^{p.к}$ — раннее начало работы;
- $t_{i-j}^{n.к}$ — позднее начало работы;
- $t_{i-j}^{p.о}$ — раннее окончание работы;
- $t_{i-j}^{n.о}$ — позднее окончание работы;
- R_i — резерв времени на свершение события;
- $R(L)$ — полный резерв времени пути;
- R_{i-j} — общий (полный) резерв времени работы;
- r_{i-j} — частный резерв времени работы.

Очередность расчета обычно принимается следующая; сначала определяются ранние сроки начала и окончания всех работ, начиная от исходного события и кончая завершающим. На основе вычисленных ранних сроков устанавливается критический путь, затем определяются поздние сроки начала и окончания, после чего для всех некритических путей и работ вычисляются запасы времени.

Для лучшего восприятия и усвоения существа и методики расчета используем конкретный простой пример. Возьмем готовый сетевой график, состоящий из шести событий и девяти обезличенных работ, из которых одна фиктивная (рис. 26, а) с продолжительностью в днях, указанной под стрелками.

Определение ранних сроков начала и окончания работ. Ранние сроки начала и окончания работ определяются

последовательно для каждой работы в отдельности последовательным переходом от более ранних событий к более поздним, т. е. слева направо.

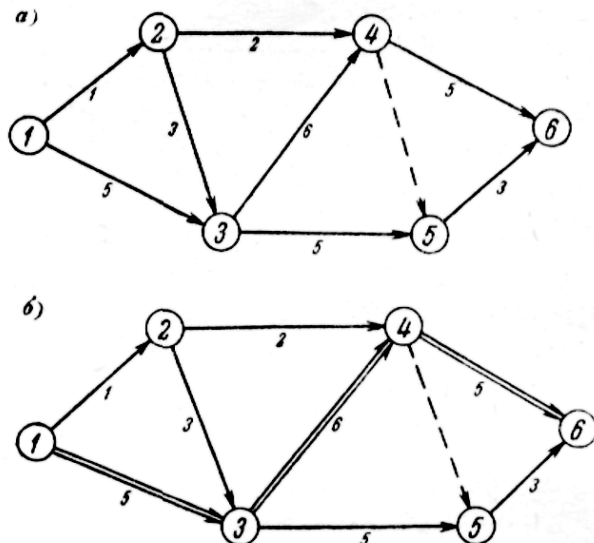


Рис. 26. Исходный сетевой график:

а) до расчета; б) после расчета с выявленным критическим путем

Сроки начала и окончания работ надлежит определять совместно. Раннее окончание работы равно раннему ее началу плюс продолжительность самой работы.

$$t_{i-j}^{p.o} = t_{i-j}^{p.n} + t_{i-j}. \quad (1)$$

Ранние сроки начала работ, выходящих из события 1, равны нулю. Следовательно, ранние сроки окончания этих работ будут равны их продолжительности. Указанное вытекает из формулы

$$t_{i-j}^{p.o} = 0 + t_{i-j} = t_{i-j}.$$

Раннее начало последующей работы равно раннему окончанию данной работы

$$t_{j-k}^{p.n} = t_{i-j}^{p.o}. \quad (2)$$

Если данной работе предшествует несколько работ, то ее раннее начало равно максимальному значению из всех ранних окончаний предшествующих работ

$$t_{j-k}^{p.n} = \max t_{i-j}^{p.o}. \quad (2')$$

Определим ранние сроки начала и окончания работ для нашего примера. Ранние сроки начала работ 1—2 и 1—3 будут равны нулю, а ранние сроки их окончания равны их продолжительности:

$$t_{1-2}^{p.n} = 0; \quad t_{1-2}^{p.o} = t_{1-2}^{p.n} + t_{1-2} = 0 + 1 = 1;$$

$$t_{1-3}^{p.n} = 0; \quad t_{1-3}^{p.o} = t_{1-3}^{p.n} + t_{1-3} = 0 + 5 = 5.$$

Раннее начало работ 2—3 и 2—4 будет одинаковым и определится как раннее окончание работы 1—2, а именно:

$$t_{2-3}^{p.n} = t_{1-2}^{p.o} = 1; \quad t_{2-3}^{p.o} = t_{2-3}^{p.n} + t_{2-3} = 1 + 3 = 4;$$

$$t_{2-4}^{p.n} = t_{1-2}^{p.o} = 1; \quad t_{2-4}^{p.o} = t_{2-4}^{p.n} + t_{2-4} = 1 + 2 = 3.$$

За раннее начало работ 3—4 и 3—5, выходящих из события 3, следует принять наибольшее значение раннего окончания из двух работ, входящих в это же событие:

$$t_{3-4}^{p.n} = t_{3-5}^{p.n} = \max (t_{1-3}^{p.o}; t_{2-3}^{p.o}) = \max (5; 3) = 5;$$

$$t_{3-4}^{p.o} = t_{3-4}^{p.n} + t_{3-4} = 5 + 6 = 11;$$

$$t_{3-5}^{p.o} = t_{3-5}^{p.n} + t_{3-5} = 5 + 5 = 10;$$

$$t_{4-5}^{p.n} = t_{4-6}^{p.n} = \max (t_{3-4}^{p.o}; t_{2-4}^{p.o}) = \max (11; 3) = 11;$$

$$t_{4-5}^{p.o} = t_{4-5}^{p.n} + t_{4-5} = 11 + 0 = 11;$$

$$t_{4-6}^{p.o} = t_{4-6}^{p.n} + t_{4-6} = 11 + 5 = 16;$$

$$t_{5-6}^{p.n} = \max (t_{3-5}^{p.o}; t_{4-5}^{p.o}) = \max (10; 11) = 11;$$

$$t_{5-6}^{p.o} = t_{5-6}^{p.n} + t_{5-6} = 11 + 3 = 14.$$

Максимальное значение раннего окончания какой-либо из работ, входящих в завершающее событие, определяет одновременно и ее позднее окончание, а также продолжительность критического пути, состоящего из суммы всех работ этого пути

$$\max t_{i-k}^{p.o} = t_{i-k}^{n.o} = t_{kp} = \max \sum t_{i-j}. \quad (3)$$

В нашем примере в завершающее событие *б* входят две работы *4—б* и *5—б*, из которых первая имеет наибольшее значение раннего окончания, равное 16 дням ($t_{4-6}^{p.o} = 16$). Эта величина и будет определять величину критического пути ($t_{kp} = 16$). Вместе с тем она является наиболее поздним окончанием всех работ, входящих в завершающее событие:

$$t_{4-6}^{p.o} = t_{4-6}^{n.o} = t_{5-6}^{n.o} = t_{kp} = 16.$$

После того как определено позднее окончание последних работ, входящих в завершающее событие, определяются поздние сроки начала и окончания всех остальных работ сети.

Определение поздних сроков начала и окончания работ. Поздние сроки начала и окончания работ определяются обратным ходом, от завершающего события к исходному, т. е. справа налево. Позднее начало любой работы определяется как разность ее позднего окончания и продолжительности самой работы

$$t_{i-j}^{n.n} = t_{i-j}^{n.o} - t_{i-j}. \quad (4)$$

В нашем примере поздние окончания работ *5—б* и *4—б* будут равны:

$$t_{5-6}^{n.n} = t_{5-6}^{n.o} - t_{5-6} = 16 - 3 = 13;$$

$$t_{4-6}^{n.n} = t_{4-6}^{n.o} - t_{4-6} = 16 - 5 = 11.$$

По позднему началу последующей работы можно определить позднее окончание данной работы

$$t_{i-j}^{n.o} = t_{j-k}^{n.n}. \quad (5)$$

В нашем примере поздним окончанием работ *3—5* и зависимости *4—5* будет позднее начало работы *5—б*:

$$t_{3-5}^{n.o} = t_{5-6}^{n.n} = 13; \quad t_{3-5}^{n.n} = t_{3-5}^{n.o} - t_{3-5} = 13 - 5 = 8;$$

$$t_{4-5}^{n.o} = t_{5-6}^{n.n} = 13; \quad t_{4-5}^{n.n} = t_{4-5}^{n.o} - t_{4-5} = 13 - 0 = 13.$$

Если за данной работой следует не одна, а несколько работ, то ее позднее окончание будет равно минимальному значению из всех поздних начал последующих работ

$$t_{i-j}^{n.o} = \min t_{j-k}^{n.n}. \quad (5')$$

При определении поздних окончаний остальных работ рассматриваемого сетевого графика (рис. 26) в скобках указываются все значения поздних начал последующих работ, из которых принимается наименьшее:

$$t_{3-4}^{n.o} = t_{2-4}^{n.o} = \min (t_{4-6}^{n.n}; t_{4-5}^{n.n}) = \min(11; 13) = 11;$$

$$t_{3-4}^{n.n} = t_{3-4}^{n.o} - t_{3-4} = 11 - 6 = 5;$$

$$t_{2-4}^{n.n} = t_{2-4}^{n.o} - t_{2-4} = 11 - 2 = 9;$$

$$t_{2-3}^{n.o} = t_{1-3}^{n.o} = \min (t_{3-4}^{n.n}; t_{3-5}^{n.n}) = \min(5; 8) = 5;$$

$$t_{2-3}^{n.n} = t_{2-3}^{n.o} - t_{2-3} = 5 - 3 = 2;$$

$$t_{1-3}^{n.n} = t_{1-3}^{n.o} - t_{1-3} = 5 - 5 = 0;$$

$$t_{1-2}^{n.o} = \min (t_{2-4}^{n.n}; t_{2-3}^{n.n}) = \min(9; 2) = 2;$$

$$t_{1-2}^{n.n} = t_{1-2}^{n.o} - t_{1-2} = 2 - 1 = 1.$$

Для работ критического пути ранние и поздние сроки начала и соответственно окончания равны

$$t_{i-j}^{p.n} = t_{i-j}^{n.n} \quad \text{и} \quad t_{i-j}^{p.o} = t_{i-j}^{n.o}.$$

В нашем примере критический путь проходит через события 1, 3, 4 и 6, ранние и поздние сроки свершения которых также равны

$$t_i^p = t_i^n.$$

Критическими работами являются работы 1—3; 3—4 и 4—6, они показываются жирными стрелками на графике (рис. 26, б).

В ряде случаев недостаточно только одного равенства ранних и поздних сроков начала и окончания работы, для того чтобы считать ее критической. Так, на рис. 27, а, все три работы, выходящие из событий 5 и 6, могут показаться критическими, так как их ранние и поздние начала, проставленные на рисунке в виде дроби у начала стрелок, будут равны между собой. Но такой вывод будет неверным.

Работа может быть признана лежащей на критическом пути только при соблюдении следующего условия: разность между поздним или ранним окончанием и началом работы должна равняться продолжительности самой работы

$$t_{i-j}^{p.o} - t_{i-j}^{p.n} = t_{i-j} \quad \text{и} \quad t_{i-j}^{n.o} - t_{i-j}^{n.n} = t_{i-j}.$$

В рассматриваемом примере это условие для работы 5—7 не соблюдено ($15-3=12>3$), а для работ 5—6 и 6—7 соблюдено ($8-3=5$) и ($15-8=7$). В связи с этим критический путь проходит так, как указано на рис. 27, б.

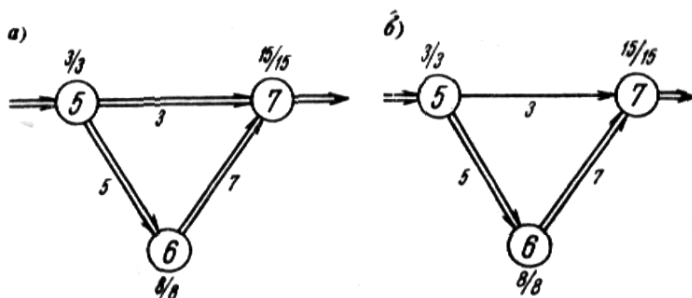


Рис. 27. Условие критичности:
а) неправильное; б) правильное

Разница между поздним окончанием и ранним началом данной работы ($t_{i-j}^{n.o} - t_{i-j}^{p.n}$) показывает максимально возможный отрезок времени, в течение которого работа может выполняться.

Определение общих резервов времени. Выше отмечалось, что длина критического пути больше любого другого пути сетевого графика.

Разница между продолжительностью критического пути (t_{kp}) и продолжительностью любого другого пути ($t(L_n)$) является общим полным резервом времени пути

$$R(L_n) = t_{kp} - t(L_n). \quad (6)$$

Чем короче путь по сравнению с критическим, тем больше у него полный резерв времени, который показывает, насколько в сумме может быть увеличена продолжительность всех работ, принадлежащих данному пути, без существенного изменения общего срока выполнения программы.

Определим длину и полные резервы всех путей сетевого графика (см. рис. 26) и сведем полученные данные в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	№ событий, по которым проходит путь	Длина пути	Полные резервы времени пути
1	1—3—5—6	$L_1=5+5+3=13$	$R(L_1)=16-13=3$
2	1—2—4—5—6	$L_2=1+2+0+3=6$	$R(L_2)=16-6=10$
3	1—2—3—5—6	$L_3=1+3+5+3=12$	$R(L_3)=16-12=4$
4	1—2—3—4—5—6	$L_4=1+3+6+0+3=13$	$R(L_4)=16-13=3$
5	1—3—4—5—6	$L_5=5+6+0+3=14$	$R(L_5)=16-14=2$
6	1—3—4—6	$L_6=5+6+5=16$	$R(L_6)=16-16=0$
7	1—2—3—4—6	$L_7=1+3+6+5=15$	$R(L_7)=16-15=1$
8	1—2—4—6	$L_8=1+2+5=8$	$R(L_8)=16-8=8$

Следует различать резервы времени на выполнение работ (R_{i-j}) и резервы времени на свершение событий (R_i).

Резерв времени работы (R_{i-j}), называемый общим, или полным, показывает, на какое время может быть увеличена продолжительность отдельной работы (t_{i-j}), чтобы при этом длина максимального из путей [$t(L_{\max})$], проходящих через эту работу, не превысила длины критического пути.

Под общим, или полным, резервом времени той или иной не критической работы можно понимать и время, на которое разрешается перенести начало данной работы.

Если общий (полный) запас времени будет исчерпан, то данная работа станет критической.

Резерв времени свершения события определяет максимально допустимую задержку выполнения всех работ, входящих в данное событие. Все общие резервы времени работ и событий представляют зависимые резервы, так как использование их по какой-либо работе или событию, хотя бы и частичное, ведет к перераспределению резервов по всем работам и событиям, которые лежат на путях, проходящих через данную работу или событие. В дальнейшем мы будем рассматривать главным образом резервы, относящиеся к работам.

Общий резерв времени отдельных работ может быть определен разными способами.

Первый способ заключается в расчете разности позднего и раннего начала или позднего и раннего окончания работ, которая и определяет резерв работы

$$R_{i-j} = \begin{cases} t_{i-j}^{n.H} - t_{i-j}^{p.H} \\ t_{i-j}^{n.o} - t_{i-j}^{p.o} \end{cases} \quad (7)$$

При втором способе расчет ведут по разности позднего начала последующей работы, раннего начала данной работы и продолжительности самой работы

$$R_{i-j} = t_{j-k}^{n.H} - t_{i-j}^{p.H} - t_{i-j} \quad (7')$$

Общий запас времени работы может быть определен также и третьим способом — путем вычитания из наиболее позднего срока наступления последующего события (t_j^n) наиболее раннего срока наступления предшествующего события (t_i^p) и продолжительности данной работы (t_{i-j})

$$R_{i-j} = t_j^n - t_i^p - t_{i-j} \quad (7'')$$

Общий резерв времени любой работы, лежащей на критическом пути, равен нулю.

Определим общие резервы времени работ рассматриваемого сетевого графика по первому способу, беря за исходные данные, рассчитанные выше ранние и поздние сроки начал выполнения каждой работы, предусмотренной графиком (см. рис. 26):

- 1) $R_{1-2} = t_{1-2}^{n.H} - t_{1-2}^{p.H} = 1 - 0 = 1;$
- 2) $R_{1-3} = t_{1-3}^{n.H} - t_{1-3}^{p.H} = 0 - 0 = 0;$
- 3) $R_{2-3} = t_{2-3}^{n.H} - t_{2-3}^{p.H} = 2 - 1 = 1;$
- 4) $R_{2-4} = t_{2-4}^{n.H} - t_{2-4}^{p.H} = 9 - 1 = 8;$
- 5) $R_{3-4} = t_{3-4}^{n.H} - t_{3-4}^{p.H} = 5 - 5 = 0;$
- 6) $R_{3-5} = t_{3-5}^{n.H} - t_{3-5}^{p.H} = 8 - 5 = 3;$
- 7) $R_{4-5} = t_{4-5}^{n.H} - t_{4-5}^{p.H} = 13 - 11 = 2;$

$$8) R_{4-6} = t_{4-6}^{n.n} - t_{4-6}^{p.n} = 11 - 11 = 0;$$

$$9) R_{5-6} = t_{5-6}^{n.n} - t_{5-6}^{p.n} = 13 - 11 = 2.$$

Аналогичные результаты будут получены, если общие резервы времени определять по окончаниям работ

$$R_{i-j} = t_{i-j}^{n.o} - t_{i-j}^{p.o}.$$

Резерв времени всего пути $R(L)$ может быть распределен между отдельными работами, находящимися на данном пути, только в пределах общих резервов времени этих работ.

Если для примера мы возьмем путь $1-2-4-5-6$ общей длиной 6 дней, для которого общий резерв времени при длине критического пути $1-3-4-6$, равном 16 дням, составляет 10 дней, то его можно распределить на данном пути следующим образом.

Работа $5-6$ имеет общий резерв времени, равный 2 дням, и, следовательно, ее продолжительность можно увеличить только на 2 дня — с 3 до 5 дней; тогда на долю двух остальных работ этого пути $1-2$ и $2-4$ останется от общего резерва времени пути $10-2=8$ дней, которые можно распределить следующим образом: 1 день для работы $1-2$, так как ее резерв составляет всего лишь 1 день, и 7 дней для работы $2-4$, резерв времени которой равен 8 дням. В результате мы исчерпали весь резерв времени пути ($R=10$ дням), но не удовлетворили резервами все работы этого пути. Такое положение создается потому, что сумма общих резервов всех работ, лежащих на данном пути, оказалась больше, чем общий резерв всего пути:

$$\sum R_{i-j}(L_2) = 1 + 8 + 2 + 2 = 13;$$

$$R(L_2) = 10;$$

$$\sum R_{i-j}(L_2) > R(L_2).$$

Подобная ситуация возможна, так как одна и та же работа может входить в разные пути. Если бы по всем работам пути использовать их общие резервы, составля-

ющие в сумме 13 дней, то путь стал бы больше критического

$$6 + 13 = 19 > 16.$$

Следует отметить, что по отдельным работам, помимо общего резерва времени, имеются и частные резервы.

Определение частных резервов времени. Частный резерв времени есть время, на которое можно перенести начало работы или увеличить ее продолжительность без изменения раннего начала последующих работ. В связи с этим частный резерв является независимым резервом и его использование не влияет на сроки выполнения других работ.

По своей природе частный резерв времени не может быть по величине больше полного. Для критических работ частные резервы времени всегда равны нулю.

Частный резерв определяется как разность между ранним началом последующей работы и ранним окончанием данной работы или же по разности ранних начал и продолжительности самой работы

$$r_{i-j} = t_{i-k}^{p.n} - t_{i-j}^{p.o} \quad (8)$$

или

$$r_{i-j} = t_{i-k}^{p.n} - t_{i-j}^{p.n} - t_{i-j} \quad (8')$$

Величина частного резерва времени может быть определена так же, как разность между наиболее ранним временем наступления последующего события (t_j^p), наиболее ранним наступлением предшествующего события (t_i^p) и продолжительностью данной работы (t_{i-j})

$$r_{i-j} = t_j^p - t_i^p - t_{i-j} \quad (8'')$$

Определим частные резервы времени для нашего графика по первому способу — формула (8), — как наиболее распространенному:

$$1) r_{1-2} = t_{2-3}^{p.n} - t_{1-2}^{p.o} = 1 - 1 = 0$$

или

$$t_{2-4}^{p.n} - t_{1-2}^{p.r} = 1 - 1 = 0;$$

$$2) r_{1-3} = t_{3-4}^{p.n} - t_{1-3}^{p.o} = 5 - 5 = 0;$$

- 3) $r_{2-3} = t_{3-4}^{p.H} - t_{2-3}^{p.O} = 5 - 4 = 1;$
- 4) $r_{2-4} = t_{4-6}^{p.H} - t_{2-4}^{p.O} = 11 - 3 = 8;$
- 5) $r_{3-4} = t_{4-6}^{p.H} - t_{3-4}^{p.O} = 11 - 11 = 0;$
- 6) $r_{3-5} = t_{5-6}^{p.H} - t_{3-5}^{p.O} = 11 - 10 = 1;$
- 7) $r_{4-5} = t_{5-6}^{p.H} - t_{4-5}^{p.O} = 11 - 11 = 0;$
- 8) $r_{4-6} = 16 - 16 = 0;$
- 9) $r_{5-6} = 16 - 14 = 2.$

Графически общий и частный резервы времени представлены на рис. 28, являющимся частью сетевого графика, изображенного на рис. 26.

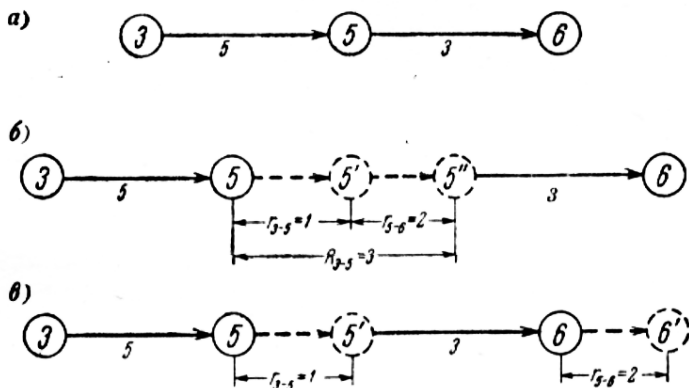


Рис. 28. Графическое изображение резервов времени:
 а) часть сетевого графика с рис. 26; б) общий резерв времени работы 3—5; в) частный резерв времени работ 3—5 и 5—6

Из рис. 28 видно, что общий резерв времени работы 3—5 равен сумме частных резервов данной работы 3—5 и последующей работы 5—6.

$$R_{3-5} = r_{3-5} + r_{5-6} = 1 + 2 = 3.$$

Таким образом, на данной работе можно использовать не только свой частный резерв, но и частные резервы последующих работ, при условии, если их сумма не будет превышать общего резерва времени данной работы.

Возможна и иная комбинация, при которой частный резерв одной из работ частично используется на данной работе, а частично передается другой работе.

Если вернуться к рассмотрению полного пути, представляющего любую последовательную цепь работ сетевого графика, то можно заметить, что полный резерв времени пути, определяемый ранее как разность критического и данного пути — формула (6), — может быть также определен как сумма частных резервов всех работ этого пути

$$R(L_n) = \sum r_{i-j}(L_n). \quad (6')$$

В нашем примере был рассмотрен второй путь (L_2), у которого общий резерв времени составлял 10 дней [$R(L_2) = 10$]. Проверим это посредством сложения частных резервов

$$\begin{aligned} R(L_2) &= r_{1-2} + r_{2-4} + r_{4-5} + r_{5-6} = 0 + 8 + 0 + 2 = \\ &= 10 \text{ дней.} \end{aligned}$$

Знание резервов времени и умение свободно ими маневрировать имеют большое практическое значение, так как позволяют регулировать сроки выполнения работ и потребление материально-технических ресурсов.

Не следует, однако, слишком торопиться с использованием резервов, особенно в начале осуществления программы, поскольку это может привести к такому положению, при котором все резервы будут исчерпаны и все пути станут критическими.

Определение напряженности работ. В ряде случаев, помимо определения полных и частных резервов времени, определяют еще и напряженность сроков выполнения работ. Это особенно важно, когда имеется несколько путей с одинаковыми полными резервами. В нашем примере это пути L_1 и L_4 , по которым полный резерв времени одинаков и равен 3 дням.

Напряженность характеризуется коэффициентом напряженности, который определяется по формуле

$$K_n(L_n) = \frac{t(L_n) - t'_{kp}(L_n)}{t_{kp} - t'_{kp}(L_n)}. \quad (9)$$

где $t(L_n)$ — продолжительность исследуемого пути, для которого определяется коэффициент напряженности;

$t'_{kp}(L_n)$ — часть критических работ, по которым частично проходит рассматриваемый путь;

t_{kp} — продолжительность критического пути.

Определим коэффициенты напряженности для нашего примера:

$$K_n(L_1) = \frac{13-5}{16-5} = \frac{8}{11} = 0,73;$$

$$K_n(L_2) = \frac{6-0}{16-0} = \frac{3}{8} = 0,38;$$

$$K_n(L_3) = \frac{12-0}{16-0} = \frac{3}{4} = 0,75;$$

$$K_n(L_4) = \frac{13-6}{16-6} = \frac{7}{10} = 0,7;$$

$$K_n(L_5) = \frac{14-11}{16-11} = \frac{3}{5} = 0,6;$$

$$K_n(L_6) = \frac{15-11}{16-11} = \frac{4}{5} = 0,8;$$

$$K_n(L_7) = \frac{8-5}{16-5} = \frac{3}{11} = 0,27.$$

Коэффициент напряженности дает представление о степени срочности работ данного пути. Чем выше коэффициент напряженности, тем более жесткие сроки имеются на этом пути и, следовательно, работам этого пути (не считая критического) необходимо уделять большее внимание.

В нашем примере из двух путей с одинаковыми резервами времени более напряженным является первый путь, так как у него коэффициент напряженности больше ($0,73 > 0,70$).

Все основные положения, приведенные в данном разделе и необходимые при расчете сетевых графиков, сведены в табл. 3, которая в начальный период освоения системы СПУ поможет быстрее овладеть техникой расчета всех основных параметров.

Расчетные данные

Обозначение параметра	Наименование параметра	№ формулы	Расчетные формулы	Признаки критических работ
$i-j$	Данная работа	1	$t_{i-j}^{p.0} = t_{i-j}^{p.n} + t_{i-j}$	$t_{i-j}^{p.n} = t_{i-j}^{p.0}$
$j-k$	Последующая работа	2	$t_{j-k}^{p.n} = t_{j-k}^{p.0}$ или $t_{j-k}^{p.n} = \max t_{i-j}^{p.0}$	$t_{j-k}^{p.0} = t_{j-k}^{p.n}$
t_{i-1}	Продолжительность работы	3	$t_{кр} = \max \sum t_{i-j}$; $t_{кр} = \max t_{j-k}^{p.0} = t_{j-k}^{p.n}$	$t_{i-1}^{p.0} - t_{i-1}^{p.n} = t_{i-1}$
$t_{кр}$	Продолжительность критического пути	4	$t_{i-1}^{n.n} = t_{i-1}^{p.0} - t_{i-1}$	
$t(L_n)$	Продолжительность любого пути	5	$t_{i-1}^{p.0} = t_{j-k}^{n.n}$; $t_{i-1}^{p.0} = \min t_{j-k}^{n.n}$	$R_{i-1} = 0$
$t_{i-1}^{p.n}$	Раннее начало работы	6	$R(L_n) = t_{кр} - t(L_n)$; $R(L_n) = \sum t_{i-j}(L_n)$	$r_{i-1} = 0$
$t_{i-1}^{n.n}$	Позднее начало работы	7	$R_{i-1} = t_{i-1}^{n.n} - t_{i-1}^{p.n}$; $R_{i-1} = t_{i-1}^{p.0} - t_{i-1}^{p.n}$	

Обозначение параметра	Наименование параметра	№ формулы	Расчетные формулы	Признаки критических работ
$t_{i-j}^{p,0}$	Раннее окончание работы		$R_{i-j} = t_{j-k}^{p,n} - t_{i-j}^{p,n} - t_{i-j}$; $R_{i-j} = t_j^n - t_i^p - t_{i-j}$	
$t_{i-j}^{p,0}$	Позднее окончание работы		$R_{i-j} = t_{j-k}^{p,n} + R_{j-k} - t_{i-j}^{p,n} - t_{i-j}$	
$R(L_n)$	Полный резерв времени пути	8	$r_{i-j} = t_{j-k}^{p,n} - t_{i-j}^{p,0}$; $r_{i-j} = t_{j-k}^{p,n} - t_{i-j}^{p,n} - t_{i-j}$	
R_{i-j}	Общий резерв времени работы	9	$r_{i-j} = t_i^p - t_i^p - t_{i-j}$ $K_n(L_n) = \frac{t(L_n) - t_{кр}(L_n)}{t_{кр} - t_{кр}(L_n)}$	
t_{i-j}	Частный резерв времени работы			
K_n	Коэффициент напряженности			
$t_{кр}(L_n)$	Часть критических работ, по которым частично проходит рассматриваемый путь			

§ 2. Методика расчета сетевого графика в табличной форме

Табличный способ расчета сетевого графика характеризуется большой наглядностью и компактностью. Разновидности этого способа заключаются в разнообразии форм применяемых таблиц и приемов их заполнения. Рассмотрим наиболее распространенную из них.

Таблица состоит из 9—10 вертикальных граф (табл. 4). Помимо расчетных параметров сети, в таблице проставляются: код работы (гр. 2), количество работ, предшествующих данной (гр. 1), календарные даты начала и окончания работ (гр. 10). Запись кодированных работ производится в определенном порядке. Сначала записываются все работы, выходящие из нулевого события, затем из первого, второго и т. д. до конца.

Графа кода работ состоит из двух колонок цифр. В первой колонке записываются номера всех предшествующих событий, во второй — всех последующих. Обращает на себя внимание, что события, которые ранее для каких-то работ были последующими, через некоторое время для других работ становятся предшествующими. Таким образом, одно и то же событие может выступать, то в качестве последующего события, то в качестве предшествующего. Указанное обстоятельство в значительной

Таблица 4

Количество предшествующих работ	Код работы	t_{i-j}	$t_{i-j}^{p.n}$	$t_{i-j}^{p.o}$	$t_{i-j}^{n.n}$	$t_{i-j}^{n.o}$	R_{i-j}	r_{i-j}	Дата раннего начала и окончания работ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
—	1—2	1	0	1	1	2	1	0	20/V
—	1—3	5	0	5	0	5	0	0	20/V—25/V
1	2—3	3	1	4	2	5	1	1	21/V—24/V
1	2—4	2	1	3	9	11	8	8	21/V—22/V
2	3—4	6	5	11	5	11	0	0	26/V—1/VI
2	3—5	5	5	10	8	13	3	1	26/V—31/VI
2	4—5	0	11	11	13	13	2	0	
2	4—6	5	11	16	11	16	0	0	2/VI—7/VI
2	5—6	3	11	14	13	16	2	2	2/VI—4/VI

Примечание. Значение символов в заголовке дано в табл. 3.

степени облегчает расчет и заполнение таблицы. Выполним табличный расчет для знакомого нам сетевого графика (см. рис. 26).

До начала расчета в гр. 1 проставляется количество работ, предшествующих данной. Это можно сделать, используя график или коды записанных работ. Во втором случае обращаем внимание на первую цифру кода рассматриваемой работы (первая колонка), затем ищем эту цифру во второй колонке по направлению вверх от данной работы. Если искомая цифра встретилась только один раз, значит, данной работе предшествует только одна работа, если — два раза, то две работы и т. д. Например, возьмем работу 3—4. Цифра 3 в правой колонке кода, вверх от данной работы, встречается два раза, значит, работам 3—4 и 3—5 предшествуют две работы. Это число и проставляется в гр. 1 против работ 3—4 и 3—5 и т. д.

После того как проставлено количество предшествующих работ, с сетевого графика в гр. 3 таблицы переносятся продолжительность всех работ, а затем приступают к определению ранних сроков начала и окончания работ. Рекомендуется обе графы заполнять одновременно. Сначала проставляют раннее начало работ, выходящих из первого события. Оно равно нулю. Вслед за этим заносят в гр. 5 и раннее окончание этих работ согласно формуле (1).

Дальнейшее заполнение таблицы основано на правиле, согласно которому раннее окончание предшествующей работы является ранним началом последующей работы, т. е. $t_{j-k}^{p-n} = t_{i-j}^{p-o}$. Для того чтобы проставить, например, раннее начало работы 2—3, находим в графике кодов, выше данной работы, такую предшествующую работу, которая оканчивалась бы на цифру 2, т. е. на первую цифру кода рассматриваемой работы. В данном случае это будет первая работа 1—2. Затем из гр. 5 берут ее раннее окончание, равное 1, и проставляют в гр. 4 против работы 2—3 и соответственно против работы 2—4.

Рассмотрим другую работу, например 3—4. Среди предшествующих работ, оканчивающихся на цифру 3, имеется две работы (1—3; 2—3), раннее окончание которых соответственно равно 5 и 4 дням. Следовательно, в качестве раннего начала работы 3—4 принимаем наибольшее значение, т. е. 5, его и проставляем в гр. 4 против ра-

бот 3—4 и 3—5, для которой рассуждения аналогичны. Одновременно проставляем и раннее окончание работы 3—4 как сумму ее раннего начала и продолжительности самой работы $5+6=11$. Таким способом определяют раннее начало и окончание для всех работ сетевого графика. Раннее окончание работы (4—6), равное 16 дням, будет и ее поздним окончанием, поэтому число 16 проставляем в гр. 7.

Дальше рассуждения ведутся в обратном порядке. В гр. 6 записываем позднее начало работы 5—6 как разность между ее поздним окончанием и длительностью самой работы по формуле (4), а именно $t_{i-j}^{n-n} = t_{i-j}^{n-o} - t_{i-j} = 16-3=13$. Затем среди работ находим такие, которые оканчиваются на цифру 5. Это работы 4—5 и 3—5. Против них в гр. 7 проставляем их позднее окончание, равное 13, и аналогично предыдущему получаем позднее начало этих работ. Если имеется не одна, а несколько работ, начинающихся с одинаковой цифры, то в качестве позднего окончания следует принимать наименьшее значение. Например, имеются две работы 4—6 и 4—5. Для первой позднее начало будет равно $16-5=11$, а для второй $13-0=13$, тогда для вышележащих работ, оканчивающихся на цифру 4, т. е. для работ 3—4 и 2—4, следует принимать в качестве позднего окончания наименьшее значение — 11.

После заполнения первых семи граф производится анализ таблицы — выявляются работы с одинаковыми значениями раннего и позднего начала и раннего и позднего окончания. Такие работы являются, как правило, критическими, и их следует подчеркнуть.

Общий, или полный, запас времени работы (R_{i-j}) определяется как разность между данными граф 6 и 4 или граф 7 и 5. Для проверки можно выполнять тот и другой расчет.

Частный резерв, равный разности раннего начала последующей работы и раннего окончания данной работы, т. е. $r_{i-j} = t_{j-k}^{p-n} - t_{i-j}^{p-n}$ — формула (8), по таблице определяется следующим образом: среди последующих работ находим любую работу, у которой первая цифра одинакова с последней цифрой данной работы. Например, при определении частного резерва работы 2—3 среди последующих работ, начинающихся с цифры 3, имеются две

работы (3—4 и 3—5). Для них раннее начало равно 5, а раннее окончание работы 2—3 —4. Следовательно, частный запас времени будет равен 1 ($r_{2-3} = t_{3-4}^{p.n} - t_{2-3}^{p.o} = 5 - 4 = 1$). Расчет можно вести и пользуясь работой 3—5, так как у нее раннее начало одинаково с ранним началом работы 3—4. Нулевые значения полных и частных запасов времени подтверждают справедливость найденных раннее критических работ. Теперь остается в таблице проставить календарные даты. Во избежание путаницы при определении дат рекомендуется предварительно построить две шкалы времени — одну под другой. На одной из них следует проставить рабочие дни с порядковыми номерами, а на другой — календарные дни месяцев за вычетом выходных и праздничных дней.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20	21	22	24	25	26	27	28	29	31	1	2	3	4	5	7
Май										Июнь					

Зная расчетное время, можно быстро определить и даты окончания и начала работ.

Допустим, начало работ по нашему сетевому графику принято 20 мая. Раннее начало критической работы 3—4 предусмотрено через пять дней на шестой, следовательно, она будет выполняться с 26/V. Работа 3—5 тоже начинается с 26/V, но она может начаться и 29/V, т. е. через восемь дней на девятый, согласно расчетным данным. Работа 4—6 начнется через 11 дней на 12-й, т. е. 2/VI. Полное завершение программы произойдет 7/VI (см. табл. 4, гр. 10).

Еще лучше при переходе от рабочих дней к датам и обратно пользоваться специальной таблицей, принцип которой разработан инж. Орловым из Гипротиса (табл. 5).

Табл. 5 состоит из двух частей. В верхней части по вертикали указаны месяцы, а по горизонтали — календарные дни каждого месяца. В нижней части также по вертикали отражены месяцы, а в горизонтальных строках — рабочие дни нарастающим итогом, считая от нача-

1966 г.

Календарные дни	Рабочие дни		№ п/п																													
	пн	вт	пн	вт																												
I	1	2	1	2	27	28	29	30	31	—	—																					
II	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
III	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
IV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
V	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	—	—	—
VI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
VII	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
VIII	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
IX	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
XI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
XII	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
II	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	—	—	—	—	—	—	—	
III	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	—	—	—	—	—	
IV	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	—	—	—	—	—	
V	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	—	—	—	—	—	—	—	
VI	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	—	—	—	—	—	
VII	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	—	—	—	—	—	
VIII	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	—	—	—	—	—
IX	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	—	—	—	—	—	
X	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	—	—	—	—	—	
XI	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	—	—	—	—	—	—	—	
XII	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	—	—	—	—	—	—

ла года. Число вертикальных столбцов определяется количеством рабочих дней в месяце (по самому длинному из всех месяцев года).

Табл. 5 составлена на 1966 г. Аналогичные таблицы могут быть составлены на любой год и на несколько лет подряд в зависимости от срока выполнения программы. Расчет можно вести с любой даты.

Допустим, начало работ установлено с 15 апреля, а продолжительность критического пути определилась в 75 дней. Прежде всего необходимо исключить из расчета дни с начала года (с 3 января по 14 апреля), с тем чтобы рабочие дни соответствовали исходной дате. Для этого в верхней части таблицы в IV месяце находим цифру 14 и от нее спускаемся вниз в нижнюю часть таблицы до строки IV месяца. На пересечении получим число 87, которое показывает, что до начала работ с начала года прошло 87 дней. Окончание всех работ сети определится как сумма этого числа и рассчитанной критической продолжительности: $87 + 75 = 162$.

Для определения даты окончания работ находим в нижней части таблицы число 162 и смотрим слева, какому месяцу оно соответствует. Оно соответствует июлю. От числа 162 поднимаемся вверх до строки VII месяца и на пересечении находим дату окончания разработки — 13/VII.

В случае если заданы начало разработки и директивный срок ее окончания, то можно по графику определить продолжительность работ и сравнить ее с критической.

Предположим, начало выполнения разработки намечено на 10/II, а срок окончания — на 20/X.

Определяем по указанному выше способу длительность с начала года последовательно до начала и до окончания разработки в рабочих днях и берем их разность, которая и определит директивную продолжительность:

$$\begin{array}{r} 20/X \text{ — } 247 \\ 9/II \text{ — } 33 \\ \hline 214 \text{ дней} \end{array}$$

В некоторых организациях принято вести табличный расчет сети по иной форме, которая отличается от предыдущей тем, что в ней имеется две графы с продолжи-

тельностью работ (t_{i-j}). Одна между значениями $t_{i-j}^{p.n}$ и $t_{i-j}^{p.o}$ другая между $t_{i-j}^{n.n}$ и $t_{i-j}^{n.o}$.

Заполнение колонок аналогично предыдущему, с той лишь разницей, что при переносе наиболее ранних окончаний предшествующих работ в колонку ранних начал последующих работ все не принятые показатели вычеркиваются.

§ 3. Методика расчета на графике

В отличие от табличной формы расчета определение всех рабочих параметров сети выполняется непосредственно на самом графике. Существует несколько приемов фиксации расчетных показателей — с изменением графического начертания сети и без изменения его. Рассмотрим некоторые из них.

Многосекторный способ расчета сети. До начала расчета сетевой график вычерчивается заново с увеличенными кружками. Каждый круг делится на шесть секторов, как показано на рис. 29 слева. В верхнем среднем секторе проставляется номер события, в нижнем противоположном — календарная дата начала работ. В два верхних сектора заносятся ранние сроки начала и окончания работ, в два нижних соответственно поздние сроки.

Слева принято фиксировать окончание работ, входящих в данное событие, справа — начало работ, выходящих из данного события. Если в событие входит или из него выходит более чем одна работа, то верхний левый сектор и нижний правый дополнительно делятся на более мелкие секторы по числу входящих и выходящих работ, как показано справа на рис. 29. После такой предварительной подготовки приступают к заполнению секторов.

Продедаем это на рассмотренном ранее сетевом графике (см. рис. 29). Сначала заполняются только верхние секторы, от события к событию, слева направо. В верхний правый сектор события 1 проставляется 0, так как раннее начало работ, выходящих из события 1, равно нулю. Раннее окончание работы 1—2 равно продолжительности самой работы, т. е. единице, которая записывается в верхний левый сектор. Так как раннее начало для всех работ, выходящих из события 2, будет одинаково и равно раннему окончанию предшествующей работы, то в правый сектор переносим из левого сектора единицу.

Переходим к событию 3. В него входят две работы, окончания которых определяются по формуле (1) и проставляются в малые левые сектора. Из двух значений ранних окончаний наибольшее принимается за раннее начало работ, выходящих из события 3, и проставляется в правый сектор. Таким путем ведется расчет до последнего события, для которого ранние и поздние сроки будут одинаковы. Поэтому число 16 проставляем в нижний левый

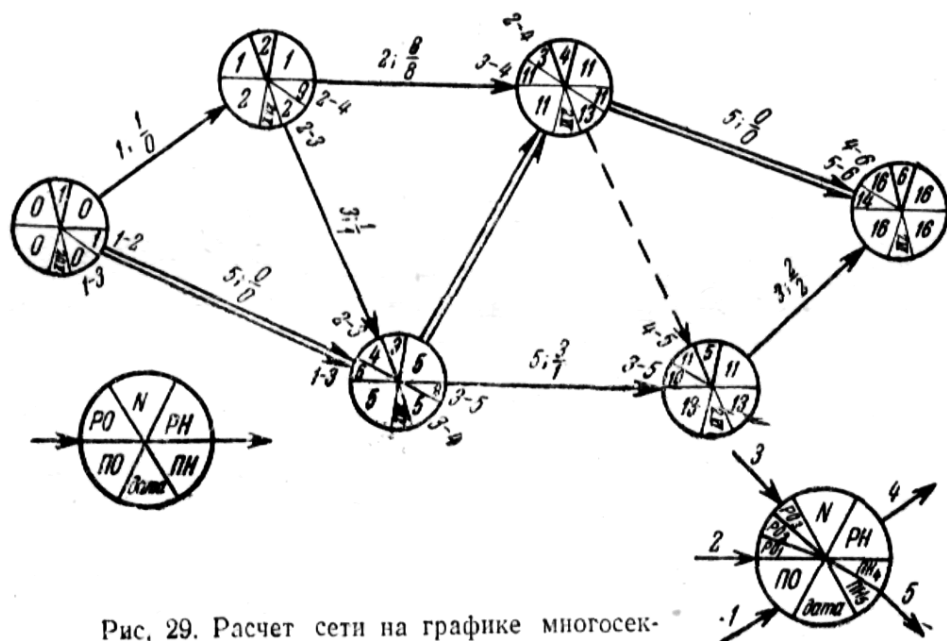


Рис. 29. Расчет сети на графике многосекторным способом

сектор и в оба правых сектора. Расчет поздних сроков ведется от конечного события к начальному, при этом заполняются нижние сектора, сначала правый, затем левый — позднее окончание предшествующей работы. Так, позднее начало работы 5—6 равно $16 - 3 = 13$. Это число записываем в правый сектор и его же переносим в левый сектор. Позднее начало работы 4—6 равно $16 - 5 = 11$, а позднее начало зависимости 4—5, равное 13, переносим из левого сектора события 5 без изменения. Из двух значений поздних начал 11 и 13 в левый сектор события 4 переносим наименьшее значение, т. е. 11, и т. д. до начального события.

После того как будут заполнены и нижние сектора, проверяют наличие в каждом круге, в противоположных

его секторах, четырех одинаковых цифр. Если такие будут обнаружены, значит, эти события лежат на критическом пути, а работы, их соединяющие, являются критическими и обозначаются двойными или жирными линиями.

Общий запас времени для работы определяется как разность позднего и раннего начала или окончания. Так, общий запас времени для работы 3—5 определяем как разность значений правых секторов события 3 ($8-5=3$) или как разность значений левых секторов события 5 ($13-10=3$).

Частный запас времени работы определяется как разность значений раннего начала последующей работы и раннего окончания данной работы. На графике частный запас времени определяется путем вычитания из показаний верхнего правого сектора показаний верхнего левого сектора того события, куда данная работа входит. Частный запас работы 3—5 равен $11-10=1$.

Значения общих и частных запасов времени обычно подписываются над стрелками или под ними в виде дроби, причем в числителе дроби проставляется общий, а в знаменателе — частный резерв времени.

Четырехсекторный способ расчета сети. При этом способе кружок-событие делится двумя диаметрами на 4 сектора. В верхнем секторе указывается номер события, в левом — наиболее раннее начало работ, *выходящих* из данного события, в правом — минимальное значение наиболее позднего начала одной из этих работ, которое одновременно отражает и позднее окончание всех работ, *входящих* в данное событие. В нижнем секторе указывается дата раннего начала работ или номер события, через которое проходит максимальный путь к данному событию (рис. 30 слева).

При движении слева направо от начального события к конечному заполняются только левые сектора, причем за раннее начало принимается наибольшее значение накопленного времени по всем путям, ведущим к данному событию.

Согласно положениям главы II раннее начало работ, выходящих, например, из события 4, равно 11, так как из двух сумм $t_{2-4}^{p.n} + t_{2-4}$ и $t_{3-4}^{p.n} + t_{3-4}$; ($1+2$ и $5+6$) вторая является наибольшей (рис. 30).

Для последнего события раннее начало последующих

работ (если бы они у него были) означает вместе с тем раннее и позднее окончание всех предшествующих работ, поэтому число 16 механически переносим в правый сектор и начинаем рассчитывать поздние сроки всех остальных работ ходом справа налево. В правый сектор записываются минимальные значения разности между поздним началом последующей работы и продолжительностью данной работы. Так, из события 3 выходят две работы

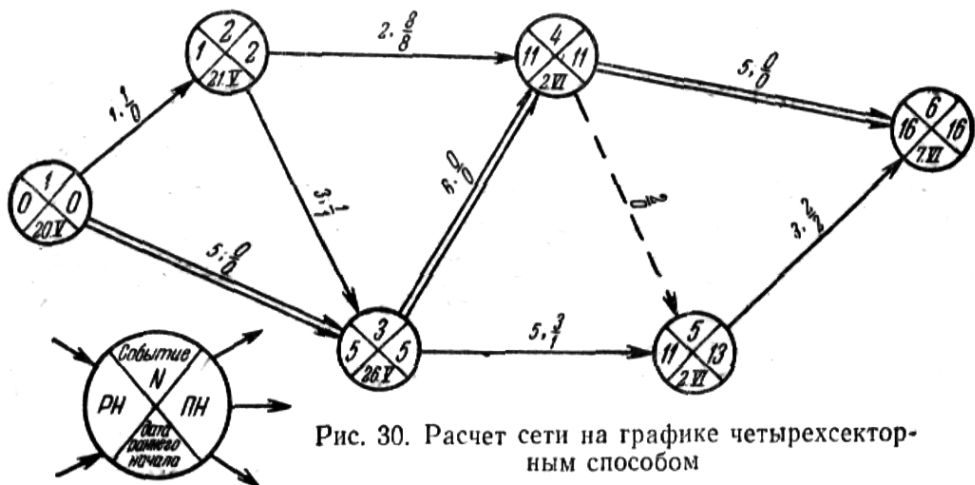


Рис. 30. Расчет сети на графике четырехсекторным способом

3—4 и 3—5. Для них разности будут составлять соответственно $11 - 6 = 5$ и $13 - 5 = 8$.

По окончании расчета отыскивают события с одинаковыми числовыми значениями левого и правого секторов. Такие события лежат на критическом пути, и работы, их соединяющие, являются также критическими.

Расчет общего запаса времени для работы определяется по следующему правилу. Числовое значение правого сектора события, куда данная работа входит, за вычетом суммы числового значения левого сектора события, откуда данная работа выходит, и продолжительности самой работы даст общий запас времени данной работы

$$R_{i-j} = t_{j-k}^{n,n} - (t_{i-j}^{p,n} + t_{i-j}).$$

Например, $R_{3-5} = 13 - (5 + 5) = 3$.

Для определения частного запаса времени из числового значения левого сектора события, куда данная работа входит, вычитают числовое значение левого сектора

события, откуда данная работа выходит, и продолжительность самой работы $r_{i-j} = t_{i-k}^{p,n} - t_{i-j}^{p,n} + t_{i-j}$.

Например, $r_{3-5} = 11 - (5 + 5) = 1$.

Способы квадрата и овала, числителя и знаменателя.

Сложность двух предыдущих способов заключается в необходимости чертить новый сетевой график с кружками больших диаметров и делить их на секторы. Для сетей сравнительно больших объемов это трудоемко. Поэтому большим признанием пользуются методы, позволяющие вести расчет на самом графике, не перечерчивая его. К числу таких методов относится расчет по способу квадрата и овала, применяемый в Госмонтажспецстрое.

На заданном сетевом графике около каждого события вычерчиваются небольшой квадрат и овал (рис. 31).

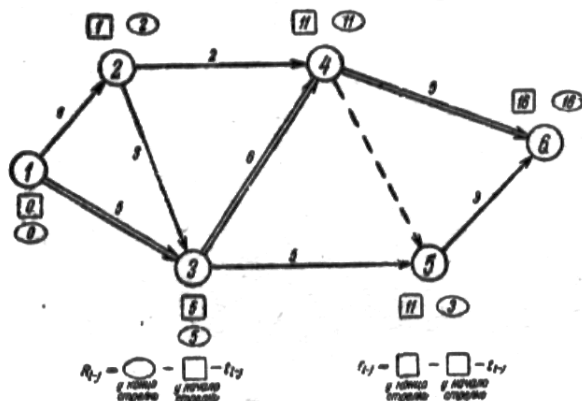


Рис. 31. Расчет сети на графике способом квадрата и овала

В квадратах записывают ранние сроки начала выходящих из данного события работ, в овалах — поздние сроки. Сначала заполняются все квадраты слева направо, затем овалы справа налево (аналогично правым и левым секторам). Расчет самих параметров сети производится так, как описано выше. Если по окончании расчета обнаружатся попарно квадраты и овалы с одинаковыми числовыми значениями, это означает, что события, около которых они расположены, относятся к критическим. Для расчета общих (R_{i-j}) и частных (r_{i-j}) запасов времени полезно запомнить прием, показанный внизу на рис. 31.

Иногда взамен квадратов и овалов на сетевом графике ранние и поздние сроки изображают в виде дроби,

в числителе которой ставят ранние сроки начала работ, выходящих из данного события, а в знаменателе — поздние. Сначала проставляют все числители, а затем знаменатели. У событий, лежащих на критическом пути, числители и знаменатели равны между собой (рис. 32).

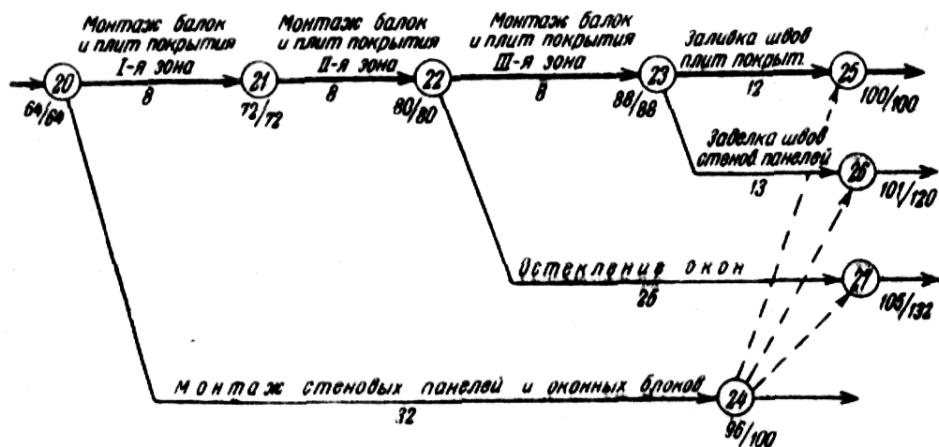


Рис. 32. Фрагмент сетевого графика с увязкой работ по их окончаниям

Знание ранних и поздних сроков начала работ дает возможность проверить правильность построения сетевого графика — соблюдения технологической последовательности и взаимосвязей между работами. На рис. 32 показан фрагмент сетевого графика, в котором начало заделки швов стеновых панелей и остекление окон не связаны с монтажом стеновых панелей и оконных блоков; и только данные об их окончании свидетельствуют о наличии увязки между ними.

Способ расчета сети с применением масштабного сетевого графика. Сетевые графики часто выполняются в масштабе времени. В этом случае под сетью вычерчивается шкала времени с нанесенными на ней рабочими и календарными днями.

Работы-стрелки изображаются на графике чаще всего горизонтально, и их длина, считая между центрами событий, соответствует установленной продолжительности. При наклонном положении стрелки продолжительность работы отсчитывается по проекции стрелки на ось времени.

При вычерчивании сети за основу принимаются работы наибольшей длительности, которые в конечном итоге оказываются критическими. Запасы времени изображаются на графике пунктирными линиями, являющимися продолжением сплошных, и их проекция на шкалу времени показывает величину частного резерва времени рабо-

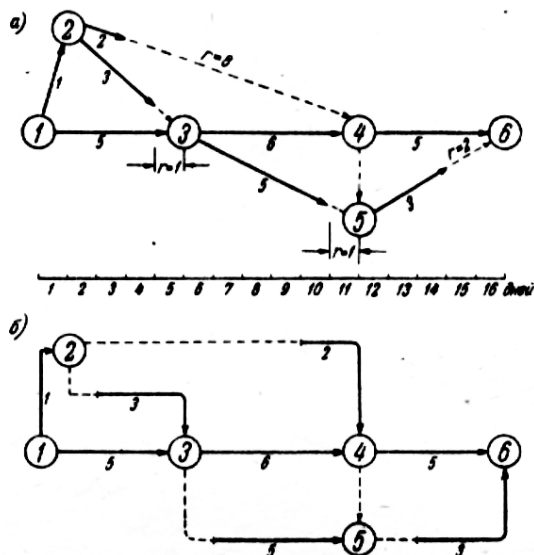


Рис. 33. Сетевой график в масштабе времени:
 а) по ранним началам; б) по поздним началам

ты в днях. В этом случае аналитический расчет резервов отпадает.

Критический путь на графике определяется как непрерывная цепь работ от начального события до конечного без резервов времени.

На рис. 33, а построен в масштабе времени по ранним началам работ знакомый нам сетевой график. Работы 1—3; 3—4 и 4—6 не имеют запасов времени, и, следовательно, их сумма определяет критическую продолжительность сети, равную по шкале времени 16 дням. Остальные работы имеют запасы времени, величины которых отсчитываются также по шкале времени как проекции пунктирных линий.

На рис. 33, б показан график, построенный по поздним началам.

§ 4. Расчет сетевых графиков на ЭВМ

Хотя способы расчета сетевых графиков вручную имеют довольно широкое распространение, все же их применение следует рассматривать как временную меру. В перспективе все расчеты по сетевому планированию и управлению должны вестись с помощью ЭВМ.

Применение ЭВМ для расчета сетей зависит главным образом от объема последних и от частоты предоставления отчетов о выполнении сетевых планов.

Обработка сетей на ЭВМ осуществляется по специальной программе, разрабатываемой применительно к соответствующему типу машины.

Сущность программирования задач для ЭВМ заключается в составлении специальных команд для машины, обеспечивающих ее настройку для выполнения необходимых действий. Команды и исходные данные для решения задачи вводятся в ЭВМ со специальных носителей информации — перфорированных карт или перфолент.

На основе поданных команд машина выполняет те или иные арифметические действия, «запоминает» нужные сведения, выдает их из своей «памяти», а также осуществляет логические операции, моделируя процессы. Моделирование заключается в том, что машина не только фиксирует состояние системы, но и отражает весь процесс по изменению этого состояния под влиянием различных факторов. Машина вырабатывает и сравнивает большое число вариантов плана, выявляя наилучшее решение.

Среди большого числа программ, разрабатываемых для этих целей, с различными характеристиками, показателями и подходом к решению задачи во всех случаях можно выделить общие этапы подготовки и обработки сетевых графиков на ЭВМ:

- I. Подготовка входной информации.
- II. Вычислительные операции на ЭВМ.
- III. Формирование выходной информации.

Каждый из этапов содержит следующий перечень присущих ему операций.

I этап включает:

разработку общей структуры комплекса; составление перечня событий и работ; кодирование событий; формирование временных оценок; установление исходных, про-

межуточных и завершающих календарных дат; контроль за правильностью построения и «сшивки» сети.

II этап предусматривает:

вычисление ранних и поздних сроков начала и окончания работ; вычисление резервов времени; нахождение критического пути; перевод расчетного времени в даты и обратно; специальные расчеты по дополнительной программе (с учетом и без учета ограничений по ресурсам).

III этап содержит:

сортировку резервов времени по величине; сортировку событий по различным характеристикам; выдачу специальных данных; печатание сетевых расчетов.

Часть операций указанного перечня подготавливается заблаговременно и независимо от машины, а часть — непосредственно связана с работой машины, для которой подготавливается специальная блок-схема, охватывающая все операции, выполняемые машиной. Один блок предназначен для ввода в машину исходных данных, другой — для проверки правильности составления сетевого графика, третий — для обновления информации и т. д.

Число блоков и их содержание устанавливаются в зависимости от конкретных условий. При сложных сетях большого объема приходится сталкиваться с ограниченными возможностями вычислительных машин. Дело в том, что количество информации, помещенной в ЭВМ, зависит от объема ее оперативной «памяти», которая может быть недостаточна для размещения программы и всех исходных данных. У большинства машин объем оперативной «памяти» составляет не более 1800 работ при минимально необходимом объеме выходной информации.

При большом объеме сети или при большой детализации выходной информации приходится прибегать к внешней «памяти» машины, которая хотя и не ограничивает размеры сетей, но усложняет программу и увеличивает машинное время, необходимое для обработки сети. В связи с этим начали практиковать разделение сетей на отдельные части, чтобы обрабатывать каждую из них в отдельности, ограничиваясь использованием только оперативной «памяти» машины, не прибегая к внешнему накопителю.

Недостатком всех существующих типов электронно-вычислительных машин является необходимость разра-

ботки для каждой из них соответствующих программ об-
счета, для чего требуется большая армия программистов.
В связи с этим признается целесообразным, с одной сто-
роны, организация специальной библиотеки программ, а
с другой — переход к программам, составленным на
специальном алгоритмическом языке, едином для всех
типов ЭВМ. В качестве такого типового языка в настоя-
щее время принят международный алгоритмический язык
«Алгол-60», позволяющий вводить информацию в маши-
ну путем набора на клавишных устройствах символов
алгоритмического языка, минуя стадию кодирования.

Глава III

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПОДГОТОВКА К СОСТАВЛЕНИЮ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ

§ 1. Структурное «дерево» разработки

Первый этап разработки сетевого плана начинается с формулирования задания, определяющего конечную цель разработки, на достижение которой должны быть направлены усилия всех исполнителей.

Помимо основной конечной цели, в сложных программах следует четко выделять и промежуточные цели, направленные на решение отдельных частных задач, являющихся составными частями общей программы.

Промежуточные цели взаимозависимы как по последовательности их достижения, так и по результатам. Они устанавливают определенный уровень выполнения программы.

В сложных разработках, когда таких промежуточных целей несколько и они в свою очередь могут иметь свои подцели, рекомендуется до составления сетевого графика разрабатывать специальную структурную схему всей программы работ, называемую «деревом» разработки. Такая схема наглядно показывает объем и этапы предстоящих работ по их законченным крупным элементам. Принципиальная схема такого структурного «дерева» представлена на рис. 34, а для конкретного случая, взятого из строительной практики, — на рис. 35, где показана также и ответственность соответствующих организаций за каждое структурное подразделение. Особенностью структуры является наличие на каждом уровне ряда самостоятельных конечных или промежуточных единиц, развивающихся независимо друг от друга. Например, строительство одного объекта может свершаться неза-

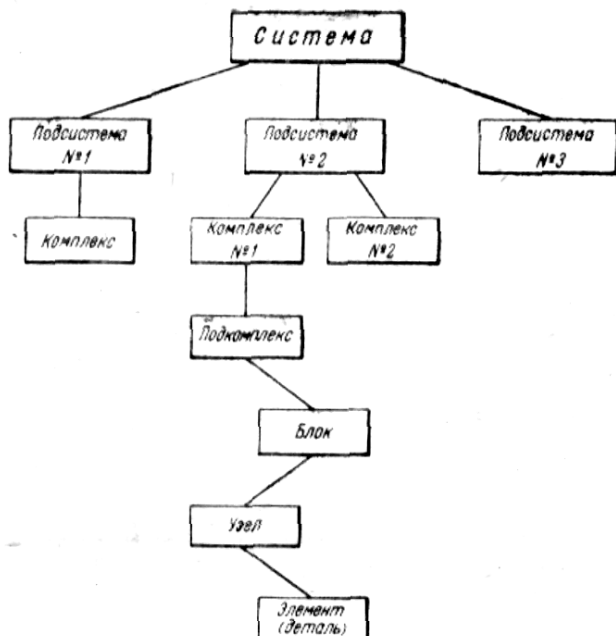


Рис. 34. Принципиальное структурное «дерево» разработки

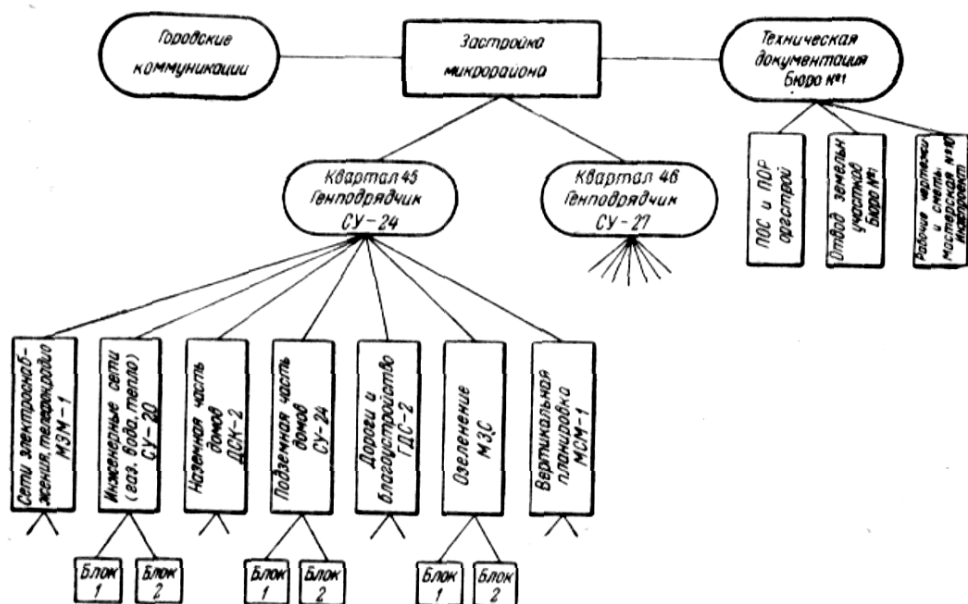


Рис. 35. Структурная схема разработки I очереди строительства комплекса объектов

высшего от строительства другого, входящего в тот же уровень.

Число уровней в структуре зависит главным образом от сложности программы и от наличной информации. Оно может быть различным для отдельных ветвей структуры. Одна ветвь развивается довольно подробно и имеет много уровней, другая — на втором или третьем уровне заканчивается и дальше не делится.

Разработка структурного «дерева» повышает обзорность программы, устанавливает более четкую взаимосвязь между ее отдельными частями и упрощает руководство в пределах каждого уровня.

§ 2. Кодирование событий и работ

В сложных разработках, насчитывающих сотни и тысячи событий и работ, кодирование имеет первостепенное значение как при составлении, «сшивании» сетей, их анализе, так и при обработке исходной и оперативной информации.

Применить сквозной порядковый номер для всех событий вряд ли целесообразно, так как в обширных сетях трудно отыскать нужное событие среди нескольких тысяч ему подобных. Поэтому большая роль при кодировании принадлежит описанному выше «дереву» разработки. Цифровой код определенного разряда, присвоенный каждому подразделению системы, находящемуся на соответствующем уровне структурной схемы, значительно упрощает процесс кодирования.

Существуют разные системы кодирования. Выбор одной из них определяется масштабами разработки, принятой структурной схемой, количеством вовлеченных организаций, возможностями вычислительных машин и средств передачи информации.

Если система, согласно принятой структурной схеме, кодируется шестиразрядным кодом, то цифра 125635 расшифровывается следующим образом:

125635	
1	Система
2	Подсистема
5	Комплекс
6	Подкомплекс
35	Событие

Каждый разряд кода показывает принадлежность события к некоторой группе работ, характерной для определенного этапа разработки.

В качестве подразделений, указанных справа, обычно проставляются конкретные наименования — организации, участки, цехи, отдельные этапы производства.

Приведенный код предназначен для сравнительно небольших сетей, так как в нем каждому подразделению придан один разряд и только для событий — два разряда.

Двумя разрядами можно пронумеровать от 00 до 99, тремя от 000 до 999 позиций. Если известно, например, что в систему или подсистему входит более 10 комплексов, то на их нумерацию отводится два разряда, считая слева направо, а если число событий, входящих в комплекс или подкомплекс, исчисляется сотнями, то на их нумерацию отводятся следующие три разряда. Все отведенные для соответствующего подразделения номера кода не обязательно использовать полностью. Лучше давать разряды с некоторым запасом, на случай возможных изменений в процессе реализации разработки и избежания риска перенумерации.

Если разработка представляет собой единственную систему, то ее код можно опустить.

Законченность определенных подразделений обозначается нулями. В приведенном выше примере номер 100000 показывает готовность системы; номер 120000 — завершение второй подсистемы; номер 125000 — завершение пятого комплекса второй подсистемы; номер 125600 — завершение шестого подкомплекса, входящего в пятый комплекс второй подсистемы и т. д.

Кодирование работ, как указывалось ранее, производится номерами двух событий — начального и конечного, причем не обязательно для расчетов начального этапа каждой ветви разработки принимать весь кодовый номер полностью, можно ограничиться подразделениями низшего уровня, например 635—642, где последние две цифры — это номера двух событий, а первая — номер подкомплекса.

Не следует забывать, что машина, помимо номеров событий, выдает еще много других сведений, имея, как правило, объем выходной информации значительно больше, чем входной, поэтому полный объем информации не

должен превышать числа печатных знаков печатающего устройства машины.

Машина выдает информацию в виде ленты цифр, в которой каждая строчка отображает одну работу. Ниже представлена запись одной работы, а справа дана ее расшифровка.

008	012	007	037	045	112	120	008	005	12	05	
008											Начальное событие
	012										Конечное событие
		007									Продолжительность работы
			037								Раннее начало
				045							Позднее начало
					112						Раннее окончание
						120					Позднее окончание
							008				Общий резерв
								005			Частный резерв
									12		Число
										05	Месяц

Помимо этих данных, машина выдает длину критического пути и перечисляет события, через которые он проходит.

При внедрении системы СПУ необходимо обосновывать выбор системы кодирования и предварительно определять объем входной и выходной информации в зависимости от пропускной способности принятой машины.

§ 3. Формирование временных оценок

Сетевой график, помимо состава и взаимосвязей событий и работ, должен иметь еще и количественные характеристики. Каждая работа, входящая в сеть, протекает во времени, следовательно, она имеет определенную продолжительность, т. е. временную оценку.

Качество сетевого графика, эффективность планирования и управления в значительной степени зависят от достоверности временных оценок.

Для работ, часто повторяющихся, имеются нормативные продолжительности, установленные в зависимости

от характера технологического процесса и применяемых ресурсов.

Длительность выполнения работ связана с определенной расстановкой ресурсов. При концентрации ресурсов в определенных пределах наблюдается сокращение сроков выполнения работ, и, наоборот, рассредоточение ресурсов приводит к замедлению темпов и удлинению сроков.

Распределение ресурсов по работам чаще всего производят произвольно, исходя из имеющихся ограничений и общих соображений, диктуемых производственным опытом и интуицией исполнителя. Там, где работы выполняются в принятом режиме, определяемом технологией производства, ресурсы распределяются в соответствии с установленным режимом, который может быть замедленным, нормальным и ускоренным.

Основной ресурс, определяющий длительность работы,— рабочие той или иной квалификации. Если к выполнению работы одновременно привлекаются рабочие нескольких категорий квалификации, нужно ориентироваться на рабочих более высокой квалификации или же на наиболее ограниченные ресурсы рабочих. При сдаче в эксплуатацию жилого дома ведущим ресурсом обычно являются рабочие-отделочники. В проектно-конструкторских разработках среди разработчиков-расчетчиков и чертежников ведущим ресурсом являются разработчики, но при известных обстоятельствах им могут оказаться и чертежники и т. д.

После определения состава привлекаемых ресурсов устанавливается выработка в расчете на единицу ресурсов.

По большинству производственных процессов, имеющих твердую нормативную базу, временные оценки выполняемых работ получают вполне определенные значения, соответствующие нормальным условиям работы (t_{i-1}^n). Такие сети с однозначными временными оценками получили название *детерминированных*. В ряде случаев, помимо нормальной продолжительности, определяют еще и сокращенное время при форсированном выполнении работ (t_{i-1}^c). Эта оценка не является обязательной и используется лишь в дальнейшем при оптимизации исходного сетевого плана.

Для сетей, по которым объективные и обоснованные нормы продолжительности отсутствуют, временные оценки приходится устанавливать в условиях полной неопределенности. Подобное положение чаще всего наблюдается в научно-исследовательских, экспериментальных, опытно-конструкторских работах при изготовлении и испытании новых опытных образцов и т. д. В этих случаях невозможно точно предвидеть ход выполнения работ, установить необходимое число исполнителей и оборудования и, конечно, весьма трудно установить продолжительность их выполнения.

В таких условиях для оценки продолжительности каждой работы применяют иной, вероятностный метод, который позволяет учесть степень неопределенности работы путем распределения вероятности ее выполнения в намеченный срок.

Это достигается с помощью трех временных оценок вместо одной, а сами сети получили название *стохастических*.

Введение вероятностных оценок времени означает совершенно новый подход к планированию. Неопределенность во времени, с которой приходится сталкиваться в новых разработках, становится объективно признанным фактором, действие которого должно учитываться. Объективная система планирования разработок в настоящее время невозможна без учета «допусков» на продолжительность работ.

Подготовка исходных временных оценок заключается в следующем:

1. Устанавливается наиболее вероятное время выполнения данной работы при имеющихся ресурсах. Это будет реалистическая продолжительность при нормальных, чаще всего встречающихся условиях выполнения работы. Естественно, что наиболее вероятная оценка, т. е. нормальное время, должно занимать наибольший удельный вес среди других оценок. Обозначается она символом $t_{н.в}$ или m .

2. Устанавливается оптимистическая оценка времени выполнения работы. Это такое минимальное время, которое будет при самом благоприятном стечении обстоятельств. Быстрее завершить работу практически нет никаких шансов. Обозначается оптимистическое время символом t_{min} или a .

3. Устанавливается максимальное время работы или пессимистическое, которое имеет место при самом неблагоприятном стечении обстоятельств. Это время характеризуется бóльшим, чем обычно, числом неудач, срывов. При этой оценке к числу неблагоприятных условий нельзя относить стихийные бедствия и несчастные случаи. К внутренним факторам можно отнести и всевозможные переделки отдельных работ (в результате неудачного выбора технологии или низкого качества выполнения). Обозначается эта оценка времени символом t_{\max} или b .

Запись трех оценок времени в сетевом графике выполняется тремя цифрами в порядке их возрастания, например 3; 7; 12, проставляемыми над или под стрелками.

Распределение вероятности времени, ожидаемого для выполнения заданной работы, можно изобразить графически в виде кривой распределения (рис. 36), где

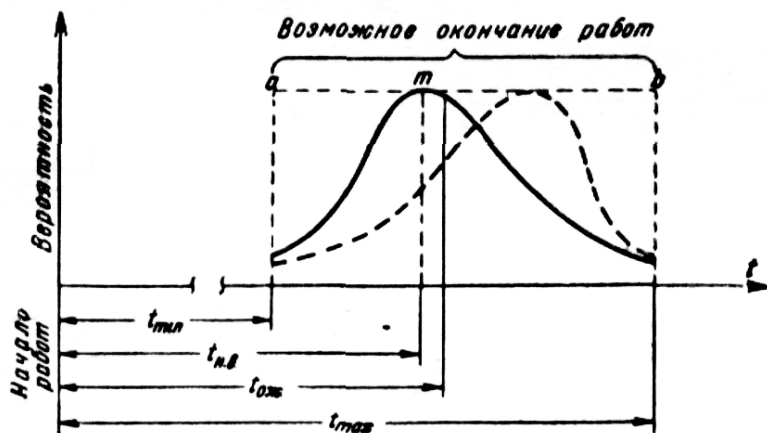


Рис. 36. Кривая распределения вероятности времени выполнения работ

m — вершина кривой характеризует наиболее вероятное время. Так как оптимистическая a и пессимистическая b оценки могут меняться по отношению к m , то кривая распределения может занимать различное положение (пунктирная линия).

Математические исследования позволили на основе ряда допущений получить весьма простую зависимость для статистического усреднения времени. Минимальной и максимальной оценке присваивают по одному баллу, вероятной — 4 балла. Время умноженное на баллы, скла-

дывают и делят на 6, в результате чего получается расчетное ожидаемое время, которое и вводится в сетевой план ($t_{ож}$)

$$t_{ож} = \frac{t_{\min} + 4t_{н.в} + t_{\max}}{6} \quad \text{или} \quad t_{ож} = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (10)$$

В формуле (10) $t_{ож}$ представляет собой математическое ожидание или статистическое среднее значение трех оценок (a, m, b) продолжительности выполнения данной работы.

Положение точки $t_{ож}$ на кривой распределения может быть различным в зависимости от числовых значений трех оценок (рис. 37). Оно может быть равно, больше

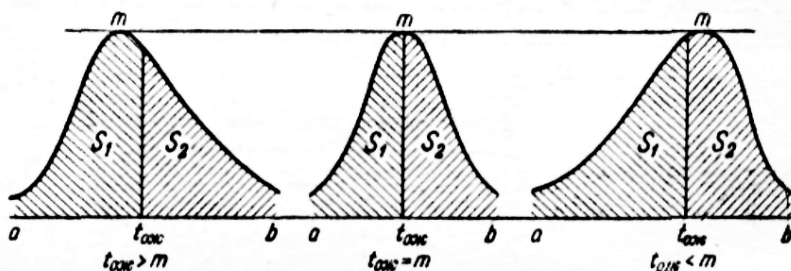


Рис. 37. Положение ожидаемого времени ($t_{ож}$) на кривой распределения

или меньше величины m , но в любом случае перпендикуляр, опущенный из этой точки на ось времени, делит площадь под кривой распределения вероятности на две равные части ($S_1 = S_2$).

В стохастических сетях, помимо математического ожидания продолжительности выполнения работ, определяют еще и величину дисперсии, т. е. меру неопределенности, связанную с этой продолжительностью.

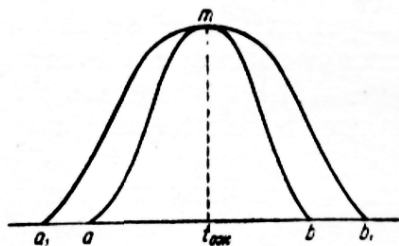


Рис. 38. Размах кривых распределения

Неопределенность характеризуется размахом кривой распределения от a до b (рис. 38). Чем больше этот размах, тем больше неопределенность, и наоборот. Например, кривая распределе-

ния a, mb_1 , имеющая больший размах по сравнению с кривой amb , обладает и большей неопределенностью.

Дисперсия обозначается символом δ^2 и вычисляется по формуле

$$\sigma_{t_{ож}}^2 = \left(\frac{t_{\max} - t_{\min}}{6} \right)^2 \text{ или } \sigma_{t_{ож}}^2 = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2, \quad (11)$$

Выражение, стоящее в скобках, представляет собой среднее квадратическое отклонение, приближенно определяемое как $1/6$ разности максимальной и минимальной оценок

$$\sigma_{t_{ож}} = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{6} \text{ или } \sigma_{t_{ож}} = \frac{b - a}{6}. \quad (12)$$

Эти две величины: математическое ожидание времени выполнения данной работы и его дисперсия — являются важнейшими характеристиками стохастического сетевого графика и вычисляются в первую очередь. На основе этих характеристик осуществляется контроль сети путем выявления работ с большей неопределенностью.

Например, имеются две работы со следующими временными характеристиками: I—3; 5; 13 недель и II—2; 6 и 10 недель. В обоих случаях расчетное ожидаемое время выполнения будет одинаковым

$$t_{ожI} = \frac{3 + (4 \cdot 5) + 13}{6} = 6; \quad t_{ожII} = \frac{2 + (4 \cdot 6) + 10}{6} = 6.$$

В отношении длительности выполнения по первой работе имеется бóльшая неопределенность, чем по второй, поскольку у первой среднеквадратическое отклонение и, следовательно, величина дисперсии больше

$$\sigma_I = \frac{13 - 3}{6} = 1,66; \quad \sigma_{II} = \frac{10 - 2}{6} = 1,33;$$

$$\sigma_I^2 = 2,76; \quad \sigma_{II}^2 = 1,78.$$

Чем больше неопределенность по каждой работе в отдельности, тем больше неопределенность и по сети в целом, ибо дисперсия сроков наступления событий по мере продвижения по сети к конечному событию накапливается. Чем больше объем сети и чем больше работ

входит в ее состав, тем более неопределенной становится оценка срока окончания разработки.

Порядок расчета стохастических сетей аналогичен детерминированным сетям, но качество самой сети определяется точностью исходных временных оценок.

Временные оценки в детерминированных сетях (нормальные и сокращенные) обычно устанавливают ведущие исполнители — технологи, производители работ, главные инженеры, проектировщики. Общие работы оцениваются на основе взаимных консультаций специалистов по различным отраслям. Лица, привлекаемые к установлению временных оценок, должны в совершенстве знать планируемую работу и иметь представление об основных положениях и преимуществах системы СПУ.

Для стохастических сетей рекомендуется применять метод групповой экспертной оценки продолжительности работ по всем трем разновидностям оценок: (t_{\min} , $t_{н.с.}$, t_{\max}). Группа экспертов состоит из пяти — семи человек. При меньшем числе сильно сказывается субъективное влияние одного-двух специалистов, а при большем — затрудняется обработка полученных данных.

Полученные от экспертов оценки усредняются отдельно по каждой разновидности (t_{\min} , $t_{н.с.}$, t_{\max}).

Практика применения сетевых методов свидетельствует о необходимости стремиться к возможно более точному определению временных оценок.

Учитывая большое значение временных оценок при сетевом планировании и управлении, необходимо постепенно создавать кадры квалифицированных экспертов, а также накапливать временные оценки по отдельным видам работ, подвергая их соответствующей обработке и анализу, с тем чтобы свести до возможного минимума неопределенность в прогнозировании продолжительности работ на предстоящих этапах разработки и создать нормативный фонд для будущих аналогичных работ.

§ 4. Карточки-определители

На основе разработанной структурной схемы устанавливается перечень частей системы, событий и работ, отвечающих различным уровням руководства.

По системе в целом и по всем ее частям назначаются ответственные исполнители — представители различных

организаций, отделов, цехов, на обязанности которых лежит подготовка исходных данных и разработка первичных сетевых графиков.

Ответственные исполнители первоначально составляют точный перечень работ и событий по порученным им частям системы и рассчитывают потребности во всех материально-технических ресурсах.

По каждой работе определяются ее объем, трудовые затраты, материалы, необходимое оборудование и стоимость.

В качестве исходных материалов для таких подсчетов служит различная техническая документация. У строителей, например, это будут проектное задание и рабочие чертежи, проекты организации строительства и проекты производства работ, технологические карты и сметы.

Вся эта документация имеет весьма существенное значение при разработке сетевого графика, так как позволяет установить, какие работы будут выполняться последовательно, а какие можно совместить и выполнять параллельно, какие работы выполняются вручную, а какие с помощью машин и механизмов.

Все произведенные подсчеты заносятся в карточки — определители работ и ресурсов (табл. 6).

Таблица 6

Карточка-определятель работ и ресурсов

по объекту _____

Исполнитель (организация) _____

Кодирование работ		Наименование работ	Предшествующие работы	Объем работ		Трудовые		Стоимость, тыс. руб.	Исполнители		
начальный номер кода	конечный № кода			единица измерения	количество	человеко-дней	машинно-смен		наименование организации	№ бригады и специализация	количество рабочих в смену
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Сменность работы	Потребность в машинах		Потребность в материалах, деталях, оборудовании				Временные оценки					Примечание		
	наименование	количество	наименование	единица измерения	количество	поставщик	детерминированные сети		стохастические (вероятностные)					
							нормальные $(t_i - l)$	сокращенные $(t_i - j)$	t_{\min} (a)	t_{\max} (b)	$t_{н.б}$ (m)		$t_{ож}$	
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	

Шифр работ проставляется после того, как будет составлен и упорядочен весь перечень работ. На временные оценки отводится шесть граф, но в зависимости от характера сетей в карточке-определителе заполняются две первые или четыре последние графы. Для детерминированных сетей указываются две оценки — нормальная и сокращенная. Первая принимается для средних условий работы, вторая — при форсированной работе за счет максимальной концентрации ресурсов. Та и другая оценка определяется как частное от деления трудоемкости или машиноемкости на количественный состав рабочих в смену и количество рабочих смен в сутки. При определении трудоемкости учитывается планируемый процент повышения производительности труда.

КОРРЕКТИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ

§ 1. Общие положения

Составленный сетевой график рассматривается и согласовывается со всеми организациями — исполнителями и поставщиками. При этом еще раз проверяются технологические и организационные связи. После определения при помощи ЭВМ или вручную всех расчетных параметров и критического пути получается первоначальный вариант исходного сетевого плана. Второй этап сетевого планирования и управления заключается в корректировании сетевого графика, т. е. в приведении его в соответствие с заданными сроками и возможностями организаций.

Метод планирования и управления большими системами только по критерию «время» в современных условиях является недостаточным.

Успех выполнения сложных разработок зависит не только от четкой координации работ во времени, но и от того, насколько правильно распределены необходимые для достижения поставленной цели материальные и трудовые ресурсы организаций, осуществляющих работы.

Процесс корректирования сетевого графика иногда называют его оптимизацией, подразумевая под этим последовательное улучшение сети с целью достижения заданного срока или равномерного распределения (с учетом имеющихся ограничений) различных видов ресурсов (трудовых, материально-технических, финансовых и др.).

В отдельных случаях материальные возможности могут оказать решающее влияние на создание системы.

Поэтому при планировании современных разработок не менее важен учет данных, характеризующих размеры материальных, денежных и трудовых затрат и их рациональное распределение.

Задачей системы СПУ и ее дальнейшего развития является обеспечение соответствия между установленными сроками работ и отпущенными для их выполнения ресурсами.

Первоначально сеть корректируется по критерию «время» без учета ограничений. По достижении заданного срока приступают к корректированию распределения ресурсов.

Очередность корректирования по отдельным видам ресурсов устанавливается в зависимости от значения каждого из них в данных конкретных условиях. Чаще всего лимитирующими оказываются время и людские ресурсы.

В отдельных случаях решающим для достижения заданного срока могут служить ограничения по какому-либо виду материала, деталям или конструкциям. Сетевой график при этом следует корректировать в первую очередь по критерию «время — материал».

Если же ограничения касаются выделяемых ассигнований, то первоначально корректирование производится по критерию «время — денежные затраты».

Ввиду отсутствия математического аппарата по оптимизации сетевого графика по нескольким критериям одновременно ее приходится выполнять последовательно по каждому ресурсу в отдельности.

Поскольку оптимизация сетевого графика осуществляется за счет частных резервов времени, каждая последующая оптимизация выполняется в пределах оставшихся частных запасов времени. Абсолютная величина первоначальных частных резервов времени постепенно уменьшается и в итоге по отдельным работам может быть полностью исчерпана.

Проведение каждой последующей оптимизации отражается на результатах предшествующей, которые могут измениться и потребовать повторного корректирования.

После каждой оптимизации производится поверочный расчет всех временных параметров сети: заново определяются критический путь, количество критических работ, возрастающих с каждой оптимизацией, и резервы вре-

мени ненапряженных работ, используемые для последующего корректирования. Окончательное решение, отвечающее требованиям соблюдения заданного срока, принципа равнопоточности при выполнении работ на разных участках, наиболее целесообразного распределения всех видов ресурсов, принимается на основе многократного просчета сети. Этот процесс весьма трудоемок; он сопровождается большим количеством вычислений, поэтому его рекомендуется выполнять на электронно-вычислительных машинах. Кроме того, необходимость оптимизации сетевого графика может возникнуть при поступлении очередной информации о ходе работ, и, следовательно, выполнить ее надо в самые сжатые сроки. Просчет на ЭВМ нескольких вариантов решений и сравнение их между собой позволят отыскать наилучший.

§ 2. Корректирование сети по критерию «время»

Расчетный критический путь первоначального варианта сетевого графика может оказаться меньше или больше заданного директивного срока. В первом случае, когда $t_{кр} < t_{дир}$, возникает дополнительный резерв времени ($R_{доп} = t_{дир} - t_{кр}$), который может быть использован для увеличения продолжительности отдельных критических работ при последующей оптимизации. Во втором случае, когда $t_{кр} > t_{дир}$, возникает отрицательный резерв, так как позднее окончание работ, входящих в последнее событие, принимает значение $t_{дир}$. Например, $t_{дир} = 40$ дням, а $t_{кр} = 50$ дням, тогда $R_{доп} = 40 - 50 = -10$. В этом случае сеть следует пересмотреть с целью ее уплотнения. Главная задача, решаемая при этом, состоит в ускорении тех работ, из которых в каждом данном случае складывается критический путь.

Уплотнение сетевого графика, или, иначе, его перепланирование, производится обычно несколько раз методом последовательных приближений, т. е. многократным сжатием очередного критического пути, пока не будет достигнут удовлетворительный результат¹.

¹ В настоящее время предложен алгоритм автоматического сжатия сети (см. Вычислительная и организационная техника в строительстве и проектировании. Выпуск 5. М., Гипротис, 1965).

Существует несколько методов приведения сетевого графика в соответствии с заданными сроками:

изменением временных оценок, путем замены нормальной продолжительности выполнения работ сокращенной;

изменением топологии сети вследствие пересмотра технологии выполнения работ;

расчленением работ и их совмещением во времени.

Общий срок выполнения программы следует сокращать в первую очередь за счет изменения продолжительности критических работ. Это один из наиболее распространенных приемов, так как он не связан с изменением топологии сети. Сеть не вычерчивается заново, меняются лишь временные оценки, проставляемые под стрелками.

Рекомендуется уменьшать продолжительность не только критических работ, но и работ, лежащих на подкритических путях, так как последние легко могут стать критическими. При значительном сокращении сроков выполнения критических работ могут возникнуть новые критические пути, также превышающие директивный срок окончания разработки.

Уменьшение временных оценок по критическим работам обеспечивается в первую очередь за счет переброски соответствующих ресурсов с ненапряженных работ, характеризующихся значительными резервами времени. Однако такой переброской не следует злоупотреблять, так как работы, лишенные всех своих резервов, станут критическими и заданный срок не будет достигнут.

В результате сокращения продолжительности выполнения одних работ и увеличения других, с которых снимают ресурсы, получается новая сеть, требующая проверки всех расчетных параметров при сохранении той же топологии.

Если внутренних ресурсов недостаточно, следует ставить вопрос о привлечении рабочих и оборудования извне, для использования которых в ряде случаев организуется вторая и третья смена.

Не следует допускать волевого изменения временных оценок руководителем программы, так как это неизбежно приведет к дискредитации сетевого плана.

В стохастических сетях, характеризующихся той или иной степенью неопределенности, временные оценки из-

меняют в следующем порядке: в первую очередь пересматривают все три оценки времени (t_{\min} , $t_{н.в}$, t_{\max}) по критическим работам, имеющим наибольшую величину дисперсии, что указывает на недостаточно высокую точность принятой временной оценки.

Не обязательно изменять временные оценки по всем критическим работам. Может оказаться вполне достаточным изменение их только у части работ, а именно у критических работ, лежащих главным образом в начале пути, чтобы в будущем иметь возможность выполнить эту замену по другим работам, если директивный срок вновь окажется под угрозой срыва.

Если не удастся в полной мере уменьшить срок выполнения разработки за счет форсирования работ, то прибегают к изменению топологии сети. Это возможно потому, что отдельные работы могут выполняться различными методами. Многовариантная технология позволяет отыскать новую последовательность производства работ и новые взаимосвязи. Ряд работ, которые ранее выполнялись последовательно, при измененной технологии будут выполняться параллельно, что и приведет к сокращению сроков.

Параллельное выполнение работ достигается расчленением работ большой длительности, что дает возможность последующую работу начать еще до полного окончания предшествующей.

При сокращении срока за счет тех или иных мероприятий и выявлении нескольких вариантов сетевого графика, обеспечивающих выполнение работ в заданный срок, необходимо сравнить эти варианты и выбрать лучший.

Выбор обосновывается многократным повторным просчетом сети на ЭВМ или вручную.

Одновременно с сокращением критического пути уменьшаются и резервы времени, в результате чего постепенно возникает все больше и больше критических работ и путей. Возможно разветвление критических путей, а в перспективе все пути могут стать критическими.

В ходе корректирования сети по критерию «время» надлежит постоянно проверять длительность остальных путей и сравнивать их между собой.

Если после всех принятых мер по сокращению продолжительности выполнения программы директивный

срок не достигнут, ставится вопрос перед вышестоящими организациями об изменении этого срока.

Проследим корректирование сетевого графика по критерию «время» на конкретном примере.

Здание компрессорной входит в общий комплекс химкомбината. Для его возведения согласно общему плану отведено 40 дней. В процессе строительства предусмотрено использование одного экскаватора, одного стрелового (МК) и одного башенного (БК) кранов, работающих в две смены (на графике обозначено двумя черточками). Все остальные работы выполняются в одну смену. Первоначальный сетевой график построен на основе технологической зависимости и содержит 19 событий, 23 работы и 3 холостых связи (рис. 39). Расчет произведен на самом графике. Около каждого события дробью проставлены ранние начала работ — числитель дроби, поздние — знаменатель. Расчетный критический путь проходит по событиям 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 19 и на 22 дня превосходит заданный директивный срок ($R=40-62=-22$ дням). Из 23 работ 13 лежат на критическом пути.

Уплотнение сетевого графика первоначально проводим за счет введения двухсменной работы с одновременным увеличением в 2 раза числа рабочих по работам 2—3, 3—5, 5—6, 6—8, 14—16, 16—18, ранее выполнявшимся в одну смену. Топология сети при этом остается без изменения. Произведенный повторный расчет ранних и поздних сроков показывает, что критический путь уменьшился (рис. 40) с 62 до 49,5 дня ($R=40-49,5=-9,5$), частично изменил свое направление в начале сети и проходит по событиям 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 19. Число критических работ не изменилось.

Полученный результат говорит о том, что проведенное корректирование не обеспечивает достижения заданного срока.

Приступаем ко второму этапу корректирования, связанному с изменением топологии сети.

Привлекаем дополнительный стреловой кран (МК-2), за счет которого работы по монтажу колонн и подкрановых балок по ряду А и по ряду В производим параллельно, а также заменяем монолитные фундаменты под колонны сборными и параллельно осуществляем их монтаж. В результате создается новая сеть, состоящая из 20 событий, 23 работ и 7 холостых связей (рис. 41). Произведенный расчет показывает, что критический путь достиг заданного срока, хотя при этом он, начиная с события 6, разветвляется, и из 23 работ 19 оказываются критическими.

Рассмотренный пример наглядно показывает неизбежность увеличения числа критических путей и работ с сокращением срока строительства. Параллельное выполнение работ порождает и дополнительные холостые связи.

В нашем примере число холостых связей при втором корректировании увеличилось с пяти до восьми.

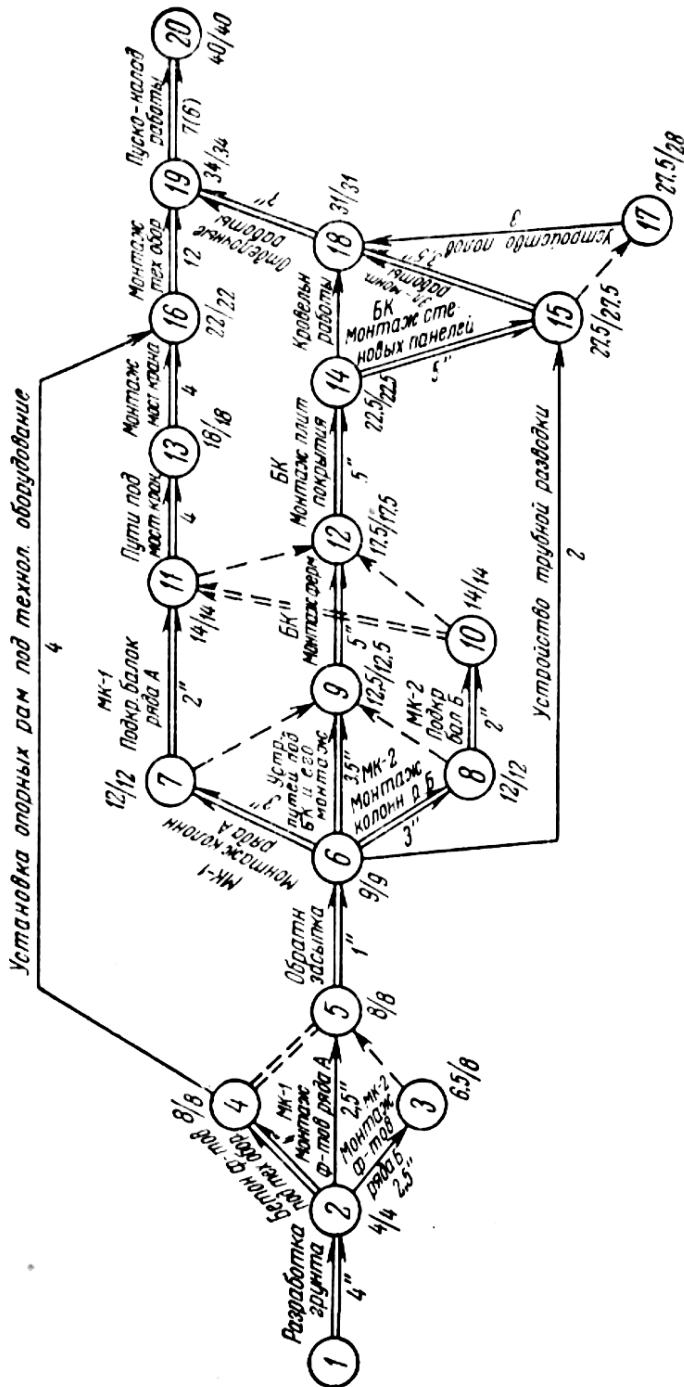


Рис 41. Уплотнение сетевого графика компрессорной за счет создания параллельных потоков

§ 3. Корректирование сети с учетом ограничений по количеству рабочих

В рамках отдельных специализированных организаций, имеющих в своем распоряжении ограниченные людские ресурсы, первостепенное значение приобретает вопрос непрерывного и равномерного использования работников.

При составлении локальных сетевых графиков правильное распределение рабочих и обеспечение их по-

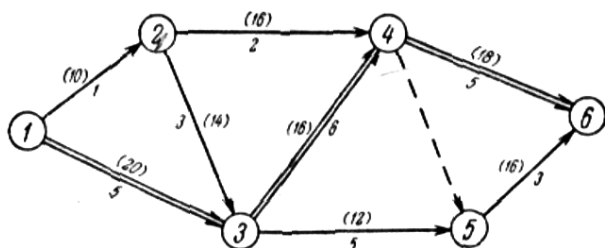


Рис. 42. Исходный сетевой график с заданным числом рабочих (в скобках)

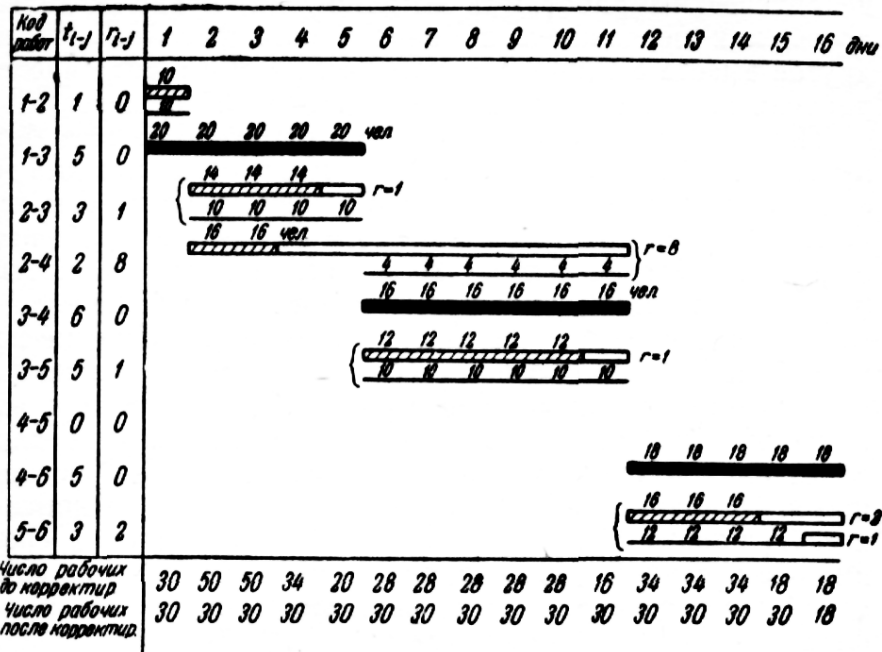
стоянной загрузкой достигается последующей оптимизацией сети по данному параметру.

Процедуру оптимизации сети по трудовому ресурсу проиллюстрируем примером.

Предположим, что рассмотренный выше график (рис. 26) является частным графиком какой-либо специализированной организации. Проставим на нем над стрелками в скобках число занятых рабочих (рис. 42).

Поскольку расчет графика уже произведен, все его параметры и критический путь известны. На основе имеющихся данных о продолжительности работ и частных резервах времени построим линейный календарный план работ по ранним началам не критических работ (рис. 43). Над линиями поставлено число занятых рабочих. Суммируя количество рабочих на каждый день по всем работам и построив по этим данным график движения рабочих, увидим, что он испытывает значительные колебания. Следовательно, сетевой (график) план с точки зрения использования рабочих составлен неудовлетворительно и должен быть скорректирован с учетом имеющихся ограничений.

а)



б)

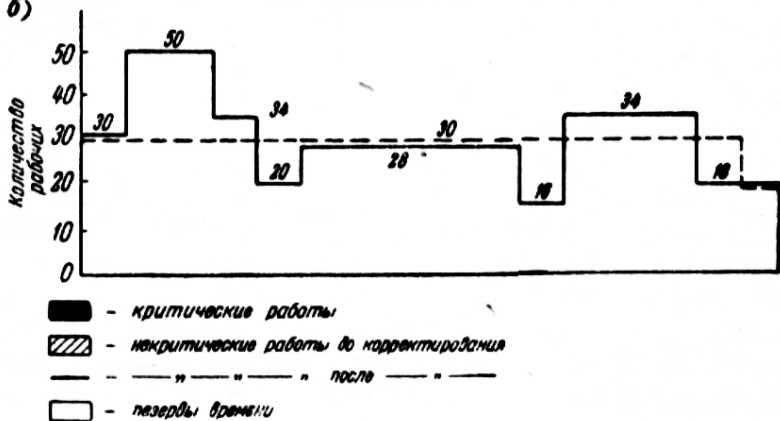


Рис. 43. Линейный календарный план (а) и график движения рабочих (б) до и после корректирования сетевого графика

Предположим, что в распоряжении организации имеется 30 рабочих, которых необходимо обеспечить непрерывной и равномерной работой. Под этим углом зрения и следует перестроить сетевой график.

Воспользуемся имеющимися запасами времени по некритическим работам и изменим их продолжительность, или передвинем их начало, или выполним то и другое вместе с таким расчетом, чтобы суммарное число рабочих на каждый день составляло бы 30 человек.

Первая и вторая (критическая) работы остаются без изменения. Работу 2—3 продолжительностью три дня и с запасом времени, равным одному дню, растягиваем до четырех дней, уменьшая при этом количество рабочих с 14 до 10 человек. Работу 2—4, имеющую трудоемкость 32 человеко-дня и запас времени восемь дней, передвигаем на 4 дня вправо и растягиваем ее выполнение до шести дней. Число рабочих при этом вместо необходимых пяти человек принимаем четыре человека, переводя их с критической работы 1—3 и создав им условия для повышения производительности труда на 20%. Оставшиеся 16 человек с этой же работы переходят на критическую работу 3—4. Предполагается, что в данной специализированной организации используются рабочие одной профессии или лица, владеющие смежными профессиями.

Дальнейшая передвижка заключается в том, что 10 человек с работы 2—3 переводим на работу 3—5 и за счет имеющегося у нее резерва удлиняем ее продолжительность до шести дней. Трудоемкость работы при этом не меняется. Освободившиеся на работе 3—4 16 человек переводим на критическую работу 4—6 и к ним еще добавляем двух человек с работы 2—4 в соответствии с запланированным числом (18 человек). Оставшиеся свободными два человека добавляются к рабочим, занятым на работе 3—5, и вместе с ними переводятся на работу 5—6, продолжительность которой удлиняется с трех до четырех дней с оставшимся запасом времени в один день. Полученные новые продолжительности изображаются на графике рядом со старыми тонкими линиями, над которыми проставлено и новое число рабочих.

Просуммировав вновь рабочих по всем работам за каждый день, увидим, что их число остается неизменным и равным 30 на протяжении выполнения почти всей программы.

Учитывая, что сроки выполнения работ изменились, следует снова пересчитать сетевой график. Произведенный расчет показывает, что критический путь остался

без изменения, но появились две дополнительные критические работы 1—2 и 2—3 (рис. 44).

Упорядочение численности рабочих произведено за счет частичного использования частных запасов времени некритических работ.

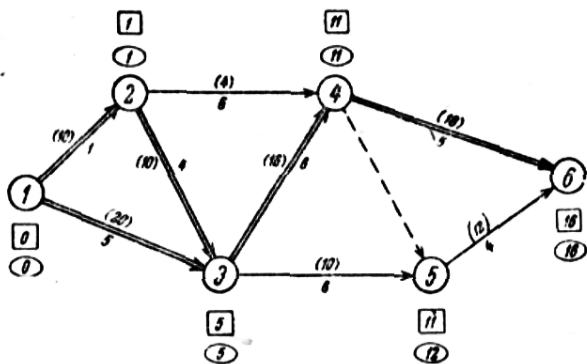


Рис. 44. Сетевой график, скорректированный по численности рабочих

Подобное корректирование сетевого графика можно выполнять не по всем работам, а выборочно, по отдельным профессиям рабочих, занятых на выполнении определенных работ.

§ 4. Построение и оптимизация сетевых графиков при поточной организации работ

Наиболее прогрессивной организацией производства является поточная, обеспечивающая ритмичный выпуск продукции (изделий, машин, объектов строительства).

В условиях строительства при значительном количестве разнотипных, разнородных по конструкции объектов или большом числе участков (захваток) с различной трудоемкостью трудно установить рациональную последовательность и непрерывность выполнения технологически однородных работ в потоках с обеспечением при этом заданного или минимального срока и постоянного состава рабочих.

Эта задача может быть решена на основе анализа локальных сетевых графиков, составленных по каждому участку (объекту) в отдельности с последующим форми-

рованием потоков технологически однородных работ в сводном сетевом графике.

Рассмотрим применение принципа поточности в сочетании с системой сетевого планирования и управления на конкретном примере.

Предположим, что на четырех разнородных по конструкции и объему работ объектах или участках выполняется в определенной технологической последовательности пять комплексных процессов.

При этом сроки выполнения каждого комплекса на участках различны.

Строим сетевые графики на каждый участок (объект) независимо друг от друга и без учета ограничений в расходе ресурсов.

Условимся, что на каждом из четырех участков (объектов) одни и те же комплексы работ выполняются в одинаковой технологической последовательности. Тогда все четыре сетевых графика по своей структуре будут одинаковыми, представляя собой горизонтальную цепь из кружков и стрелок. Подобное упрощение несколько условно, но оно значительно облегчает дальнейшее изложение.

Работы на локальных графиках имеют различные временные оценки. Они проставлены над каждой стрелкой цифрами с двумя индексами. Например, 3_{IV}^5 означает: цифра 3 — продолжительность работы на участке (объекте) в неделях, индекс IV — номер участка (объекта), индекс 5 — номер технологического комплекса, т. е. процесса. Таким образом, все технологически однородные работы имеют одинаковый верхний индекс независимо от того, на каком объекте они выполняются.

На основании временных оценок определяется продолжительность выполнения всех работ, а также наиболее раннее окончание каждой из работ на каждом из участков (объектов). Эти окончания определяются путем последовательного суммирования продолжительности всех предшествующих работ, включая данную. Полученные указанным подсчетом ранние окончания работ проставляются над кружками (рис. 45). Общая продолжительность работ на каждом из участков (объектов) соответственно составляет: на I и III участках (объектах) — по 9 недель, на II участке (объекте) — 13,5 недели, на IV — 17 недель.

«Сошьем» локальные сети отдельных участков (объектов) в единую сводную сеть. Для этого введем условные исходные и завершающие события, соединив их пунктирными стрелками с начальным и конечным событиями каждого сетевого графика.

Если принять, что работы на всех четырех участках (объектах) совершаются параллельно и независимо друг

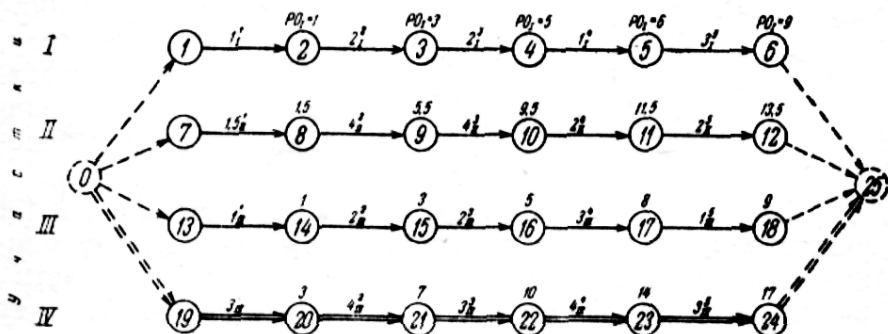


Рис. 45. Исходный сетевой график четырех участков (объектов)

от друга, то критическая продолжительность выполнения всего комплекса определится продолжительностью работ на IV участке (объекте), равной 17 неделям (см. рис. 45). Такой вариант вполне возможен при условии, что работы ведутся при неограниченных ресурсах и по каждой работе сетевого графика участка (объекта) предусмотрена отдельная бригада рабочих.

В связи с нерациональностью подобной организации работ приступаем к формированию потоков технологически однородных работ, выполняемых одной бригадой. С этой целью используем данные о раннем окончании каждой работы (их значения проставлены над кружками сетевого графика — см. рис. 45). В случае сложной структуры частных сетевых графиков все расчетные параметры, в том числе и ранние окончания, могут быть получены методами обсчета, рассмотренными в главе II.

Выпишем значения ранних окончаний работ каждого вида на соответствующих участках в порядке возрастания их абсолютной величины (табл. 7).

Из приведенных данных видно, что все процессы (кроме 4-го) имеют одинаковые ранние окончания на I и

Таблица 7

Номер процесса	Ранние окончания работ на участках в порядке их возрастания
1	$1_I^1 (1_{III}^1); 1,5_{II}^1; 3_{IV}^1$
2	$3_I^2 (3_{III}^2); 5,5_{II}^2; 7_{IV}^2$
3	$5_I^3 (5_{III}^3); 9,5_{II}^3; 10_{IV}^3$
4	$6_I^4 (8_{III}^4); 11,5_{II}^4; 14_{IV}^4$
5	$9_I^5 (9_{III}^5); 13,5_{II}^5; 17_{IV}^5$

III участках. После выполнения процессов на I и III участках они выполняются на II и затем на IV участках в соответствии с их ранними окончаниями.

По каждому процессу создаем одну специализированную бригаду, работающую на участках в строго определенной последовательности.

Если бы на I и III участках по всем процессам были бы одинаковые ранние окончания, то было бы все равно, с какого участка начинать поток. Но в данном случае все потоки следует начинать именно с I участка, так как 4-й процесс в отличие от всех других имеет разные ранние окончания по участкам и самое раннее на I участке (см. табл. 7).

Последовательность выполнения любого специализированного потока по участкам рекомендуется принять в порядке возрастания ранних окончаний работ, т. е. сначала на I, затем на III, потом на II и, наконец, на IV участке.

Строим новый сетевой график с одновременным добавлением организационных связей, показывающих переход специализированных бригад с одного участка (объекта) на другой (рис. 46).

Выполняем расчет нового сетевого графика в табличной форме (табл. 8).

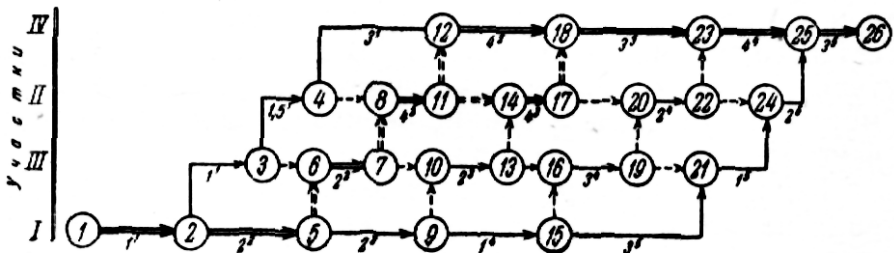


Рис. 46. Сводный сетевой график поточного выполнения работ на четырех участках

Таблица 8

Код работ	$t_{\text{н-л}}$	$p_{\text{н}}$	$p_{\text{о}}$	$n_{\text{н}}$	$n_{\text{о}}$	R_{P_o}	r
1—2	1	0	1	0	1	0	0
2—3	1	1	2	2	3	1	0
2—5	2	1	3	1	3	0	0
3—4	1,5	2	3,5	3,5	5	1,5	0
3—6	0	2	2	3	3	1	1
4—8	0	3,5	3,5	5	5	1,5	1,5
4—12	3	3,5	6,5	6	9	2,5	2,5
5—6	0	3	3	3	3	0	0
5—9	2	3	5	5	7	2	0
6—7	2	3	5	3	5	0	0
7—8	0	5	5	5	5	0	0
7—10	0	5	5	7	7	2	0
8—11	4	5	9	5	9	0	0
9—10	0	5	5	7	7	2	0
9—15	1	5	6	10	11	$5P_o=1$	0
10—13	2	5	7	7	9	$2P_o=2$	0
11—12	0	9	9	9	9	0	0
11—14	0	9	9	9	9	0	0
12—18	4	9	13	9	13	0	0
13—14	0	7	7	9	9	2	2
13—16	0	7	7	11	11	4	0
14—17	4	9	13	9	13	0	0
15—16	0	6	6	11	11	5	1
15—21	3	6	9	14	17	$8P_o=1$	1
16—19	3	7	10	11	14	$4P_o=3$	0
17—18	0	13	13	13	13	0	0
17—20	0	13	13	14	14	1	0
18—23	3	13	16	13	16	0	0
19—20	0	10	10	14	14	4	3
19—21	0	10	10	17	17	7	0
20—22	2	13	15	14	16	$1P_o=1$	0
21—24	1	10	11	17	18	$7P_o=4$	4
22—23	0	15	15	16	16	1	1
22—24	0	15	15	18	18	3	0
23—25	4	16	20	16	20	0	0
24—25	2	15	17	18	20	$3P_o=3$	3
25—26	3	20	23	20	23	0	0

Новый критический путь, равный 23 неделям, проходит теперь не по одному участку, как это было до перехода на поток (по IV участку), а по всем четырем. При этом вначале он проходит по I участку, затем по III, II и, наконец, по IV (номера критических работ в таблице подчеркнуты).

Для выяснения характера использования рабочих бригад в технологически однородных работах потока строим на основе сетевого графика линейный, беря за основу ранние сроки начала и окончания работ, согласно расчетным данным табл. 8.

Линейный график позволяет в наглядной форме установить и организационные разрывы (P_0) между однородными работами, обусловленные необходимостью открытия фронта работ для выполнения каждой последующей работы (рис. 47, а).

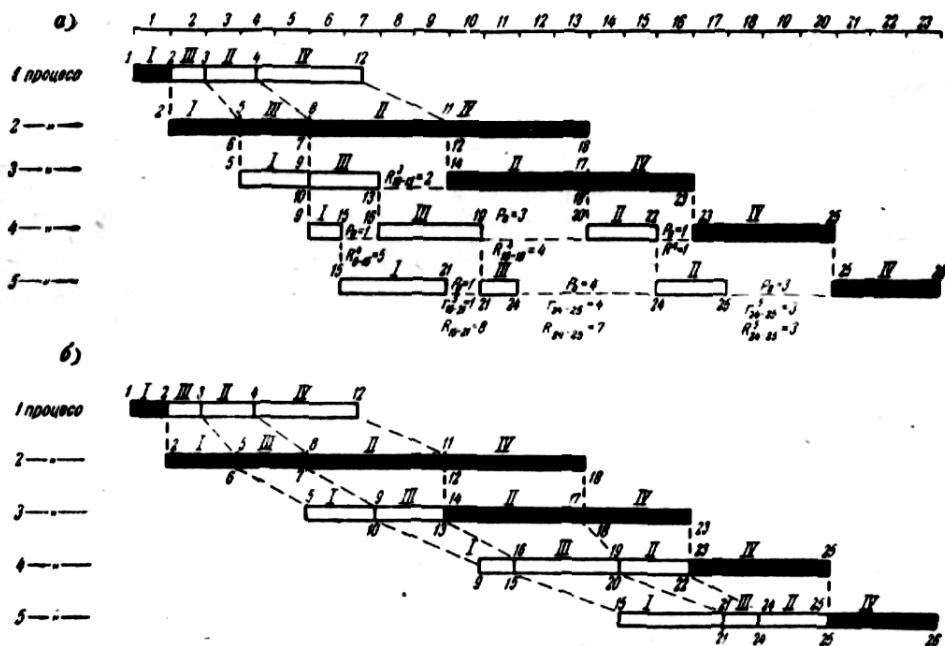


Рис. 47. Линейный график выполнения работ на четырех участках: а) до смещения; б) после смещения

Анализ организационных разрывов показывает, что их величина может быть равна общему или частному резерву времени или соответствовать промежуточному значению (табл. 9).

Таблица 9

Наименование или номер процесса	Организационные разрывы			Общий резерв R_{i-1}	Частный резерв r_{i-1}	Общая продолжительность процесса на всех объектах в неделях $\sum r_{i-1}$
	код работ	номер участка (объекта)	P_e			
1			—			6,5
2			—			12
3	10—13	III	2	2	0	11
4	9—15	I	1	5	0	
5	16—19	III	3	4	0	10
	20—22	II	1	1	0	
	15—21	I	1	8	1	9
	21—24	III	4	7	4	
	24—25	II	3	3	3	

В табл. 9 приведены данные организационных разрывов и резервов времени рассматриваемого примера.

В § 3 главы IV показана возможность удлинения сроков и передвижки начала выполнения некритических работ на более позднее время за счет частных резервов времени. Используем прием передвижки работ и в данном случае. За счет имеющихся резервов произведем подтягивание работ в сторону критических. В результате смещения работ разрывы, указанные на графике (рис. 47, а и табл. 9), будут ликвидированы, но возникнут новые разрывы, так как передвижка одной работы неизбежно вызывает необходимость передвижки предшествующих работ.

Подтягивание предшествующих работ к данной, уже смещенной по направлению к критической, производится в пределах оставшихся общих резервов времени. Например, подтянув работу 20—22 (II участок, 4-й процесс), мы используем ее общий резерв, равный одной неделе, но при этом предшествующая ей работа 16—19 (III участок) должна быть передвинута на величину, превышающую ее организационный разрыв, указанный на графике (см. рис. 47, а), — вместо трех недель четыре. Аналогичную проверку произведем и по работе 9—15 (I участок). Согласно организационному разрыву работу 9—15 следовало бы передвинуть вправо в сторону

критического пути на неделю, но в действительности ее нужно передвинуть на пять недель, т. е. на величину общего резерва ($R_{9-15}=5$) (рис. 47, б).

В результате подтягивания не критических работ к критическим изменяются сроки их выполнения: ранние сроки заменяются поздними. Такую замену приходится производить по всем передвигаемым работам. В расчетной таблице 8 все поздние сроки начала работ и резервы времени, за счет которых произведена передвижка, выделены жирным шрифтом.

В результате перехода на поздние сроки удалось создать пять непрерывных потоков технологически однородных работ. На сетевом графике этот переход отмечается календарными датами. Можно построить и новую сеть, на которой время необходимого ожидания (t_0) до начала последующего процесса на соответствующем объекте нужно выделить волнистой стрелкой (рис. 48), при этом все пути будут критическими.

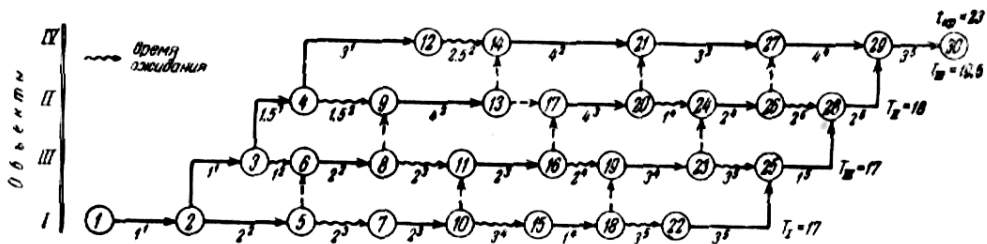


Рис. 48. Сводный сетевой график поточного строительства с выделенным ожиданием начала последующих процессов на объекте

Продолжительность выполнения всех работ на каждом из участков остается прежней, т. е. $t_I=t_{III}=9$; $t_{II}=13,5$; $t_{IV}=17$ недель при общей готовности каждого участка (объекта), равной соответственно $T_I=T_{III}=17$; $T_{II}=18$ и $T_{IV}=19,5$ недели и продолжительности критического пути $t_{кр}=23$ неделям.

При большом числе участков целесообразно создать несколько одноименных потоков технологически однородных работ, определить номера участков в каждом потоке и очередность выполнения на них работ.

Значительный эффект может быть достигнут при проведении поточной организации производства (в сочетании с сетевыми методами планирования и управления)

путем создания долговременных потоков, обеспечивающих ритмичную загрузку всего предприятия в целом (строительного или специализированного управления, треста). В таких случаях сводный сетевой график, составленный по всем участкам и объектам, сопоставляется с утвержденным планом работ, после чего график оптимизируется по продолжительности и объемам строительно-монтажных работ, с распределением по планируемому периоду всех имеющихся трудовых и материально-технических ресурсов.

§ 5. Корректирование сети с учетом ограничений по материальным ресурсам

При планировании и управлении сложными комплексами возникает необходимость маневрирования материальными ресурсами, приобретающая особую остроту в условиях возможного ограничения.

Несоответствие между потребностями в ресурсах, предусмотренными сетевым графиком, и возможностями поставщика может нарушить ход выполнения разработки и привести к срыву директивного срока. Такое положение возникает по одному или нескольким видам материалов.

Оптимальное распределение нескольких видов материальных ресурсов по работам сети при существующих ограничениях является трудной задачей, требующей громоздких вычислений и сравнений большого числа вариантов. Поэтому здесь рассматривается метод приближенного решения этой задачи на примере одного материала.

Любая сеть может характеризоваться значительными колебаниями в потреблении отдельных видов материальных ресурсов. Особенно это характерно для укрупненных сетей, в которых под каждой работой-стрелкой подразумевается комплекс операций (в строительстве это могут быть отдельные здания и сооружения). Неравномерность в потреблении материалов легко обнаруживается при построении линейного графика в виде стрелок (рис. 49). Каждая стрелка такого графика изображает работу, потребляющую тот или иной материал, указанный в левой части графика. Код работы, принятый согласно сетевому графику, проставляется в начале и в кон-

ше стрелки. Длина стрелок и их положение на графике обуславливают собой сроки расхода данного материала (цифры над стрелками). Под стрелками представляется общее количество материала, расходуемое за указанный отрезок времени. Критические работы на линейном

Время в днях

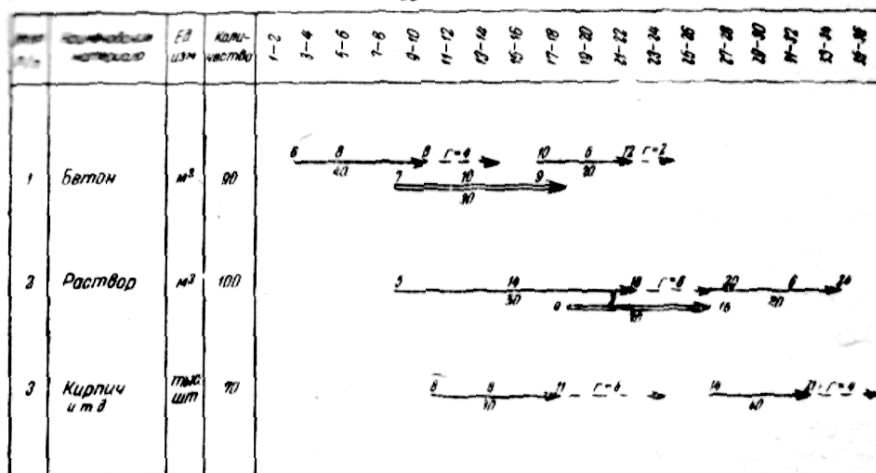


Рис. 49. Пример графика потребления и поставки материалов

графике показаны двойными линиями-стрелками, а частные резервы времени не критических работ — пунктиром.

Выбрав из общей номенклатуры материалов такой, который является основным при выполнении данной программы или связан с ограниченными возможностями поставщика, перераспределяют его с целью обеспечения более равномерного потребления.

Перераспределение ресурса производится за счет использования частных резервов времени отдельных не критических работ. Если до этого резервы времени были частично уже использованы в процессе предшествующей оптимизации, например при корректировании людских ресурсов, то предварительно проверяется, как это отразилось на распределении данного материала, после чего он перераспределяется уже в пределах оставшихся частных резервов времени и с учетом ограничений.

Предположим, что завод сборного железобетона отпускает не более 3 тыс. куб. м сборного железобетона в

неделю (номенклатуру изделий не учитываем). Возьмем в качестве условного примера сетевой график, представленный на рис. 26, поскольку по нему рассчитаны все временные параметры. Далее предполагаем, что каждая работа-стрелка представляет собой отдельное здание или сооружение, потребляющее сборный железобетон в объеме, указанном в табл. 10. Если бы в сети оказались объекты (работы), совсем не потребляющие сборный железобетон, их следовало бы исключить из дальнейших расчетов. В качестве временных оценок приняты те же цифровые значения, что и раньше, но выраженные в неделях. Предполагаем также, что до этого оптимизация не проводилась и резервы времени согласно данным первичного расчета не изменены.

Выполним операцию перераспределения сборного железобетона в табличной форме, весьма удобной для машинной обработки (табл. 10). В левой стороне таблицы проставляются коды работ, продолжительность их выполнения в неделях, частные резервы времени, а также расход сборного железобетона на соответствующий вид работы. Справа сверху фиксируется время в неделях, внизу — возможности завода по поставке железобетонных конструкций (исходя из еженедельного выпуска 3 тыс. куб. м сборного железобетона).

Порядок заполнения таблицы следующий: против каждой работы проставляются два значения в виде дроби. Числитель дроби представляет собой еженедельный расход сборного железобетона в течение всего времени выполнения данной работы, (объекта) а знаменатель — оставшуюся часть сборного железобетона, отпускаемого заводом. Полученный остаток используется для выполнения следующей работы, где в числителе опять записывается потребность, а в знаменателе — новый остаток, и так до тех пор, пока в остатке получится нуль. Это будет свидетельствовать о том, что производственная недельная мощность завода полностью исчерпана.

Из табл. 10 видно, что для выполнения работ 1—3; 3—4; 4—6 поставляются сборные железобетонные конструкции в точном соответствии с потребностями и в установленные сроки, так как эти работы критические. Что же касается других работ, то здесь возможны передвижки в сроках поставки за счет имеющихся резервов времени. Срок выполнения работы 2—3 увеличиваем до че-

Распределение сборного железобетона
(3 тыс. куб. м)

Код работы	До оптимизации		Q тыс. куб. м	1	2	3	4	5	6	7	8
	t_{i-j} , неделя	r_{i-j}									
1—2	1	0	1	1/2							
1—3	5	0	10	2/0	2/1	2/1	2/1	2/1			
2—3	3	1	4		1/0	1/0	1/0	1/0			
2—4	2	8	2,4						0,4/2,6	0,4/2,6	0,4/2,6
3—4	6	0	9,6						1,6/1	1,6/1	1,6/1
3—5	5	1	6						1/0	1/0	1/0
4—5	0	0	—								
4—6	5	0	9								
5—6	3	2	4,8								
Итого				3	3	3	3	3	3	3	3

тырех недель, чтобы на ее выполнение еженедельно расходовать не более 1 тыс. куб. м сборного железобетона, т. е. того количества, которое соответствует оставшейся неиспользованной мощности завода

Работу 2—4 начинать одновременно с работой 2—3 (как это предусмотрено графиком) нельзя, так как для ее выполнения уже не хватает материала; начать ее можно только после окончания работ 1—3 и 2—3. Это возможно, так как работа 2—4 имеет значительный резерв времени — восемь недель.

Чтобы обеспечить сборным железобетоном критическую работу 3—4, на выполнение которой еженедельно требуется 1,6 тыс. куб. м, сокращается расход по некритическим работам (2—4 и 3—5) в пределах имеющихся частных запасов времени.

Аналогичный расчет проводится по всем работам. Неиспользованный остаток сборного железобетона за последнюю неделю (1,2 тыс. куб. м) может быть использован для выполнения другой программы.

Для получения сведений о поставках железобетонных изделий дифференцированно по видам и маркам состав-

при ограниченной мощности завода
в неделю)

9	10	11	12	13	14	15	16
0,4/2,6 1,6/1 1/0	0,4/2,6 1,6/1 1/0	0,4/2,6 1,6/1 1/0	1,8/1,2 1,2/0	1,8/1,2 1,2/0	1,8/1,2 1,2/0	1,8/1,2 1,2/0	1,8/1,2 —/1,2
3	3	3	3	3	3	3	1,5

ляют номенклатурную ведомость по работам, предусмотренным сетевым графиком (табл. 11).

Таблица 11

Наименование и марка изделия	Единица измерения	Код работ				
		1—3	2—3	2—4	3—5	и т. д.
Колонны:						
К-1	шт.	10	4	10	14	
К-2	»	30	20	—	—	
К-3	»	—	—	24	24	
И т. д.						
Балки:						
Б-1	шт.	20	12	—	—	
Б-2	»	—	—	17	17	
И т. д.						

В ряде случаев поставщика, имеющего большие возможности, может интересовать не только величина поставок, но и допустимые колебания в сроках поставки.

С этой целью полезно на основе сетевого плана построить календарный график потребления материала для условий наиболее раннего и наиболее позднего начала выполнения каждой последующей работы (рис. 50). Расход материала по ранним срокам показан на графике

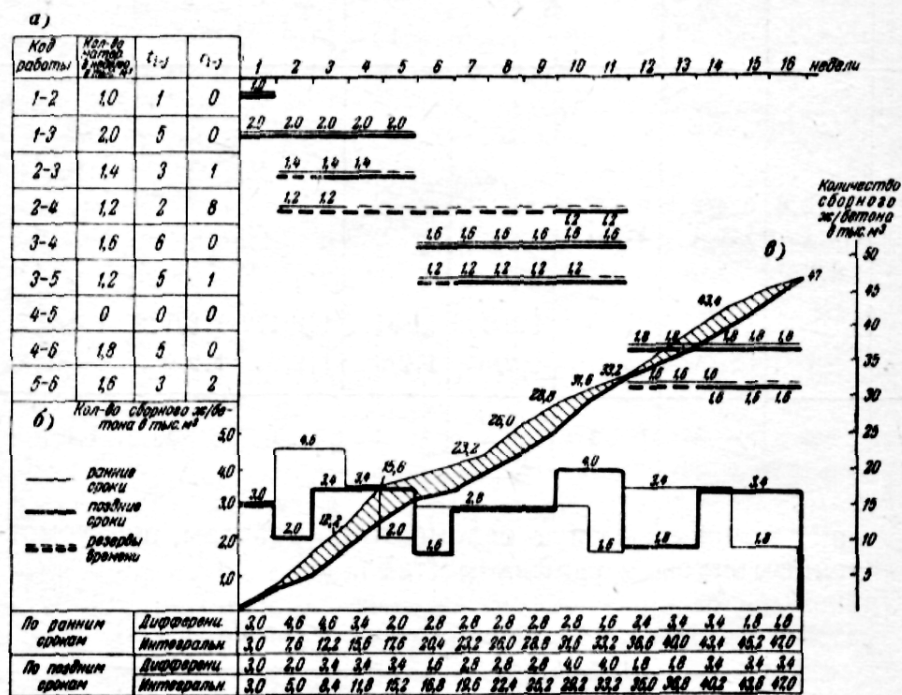


Рис. 50. График расхода сборного железобетона по ранним и поздним началам выполнения работ:

а) линейный график расхода по работам; б) дифференциальный и интегральный (нарастающий) график расхода

тонкой линией, а по поздним — толстой. Резервы времени в том и другом случае изображены пунктиром.

Еженедельный суммарный расход материала неравномерный в обоих случаях (см. нижний график на рис. 50).

Построив по данным дифференциального расхода суммарные интегральные кривые, получим зону (на рисунке показана штриховкой), в пределах которой должны осуществляться поставки. Исключением являются критические работы, которые следует обеспечивать материалами строго по календарному графику.

Если фактическая кривая поставок выйдет за пределы тонкой кривой, это будет означать создание излишних запасов материала. Нельзя допускать, чтобы фактические поставки выходили за пределы толстой линии, отражающие самые поздние сроки выполнения работ, так как это будет означать срыв программы.

После корректирования сетевого графика по одному виду материала приступают к другому.

Если при этом потребление второго материала приходится на те же работы, то корректирование следует выполнять в пределах частных резервов времени, оставшихся после предыдущей оптимизации.

Каждая последующая оптимизация влечет за собой изменение расчетных параметров, полученных в процессе предыдущей, поэтому требуется повторное корректирование. Это длительная, трудоемкая работа, которая не обеспечивает нахождения оптимального решения. Поэтому с особой остротой встает проблема разработки специальных программ для ЭВМ по проведению последовательной оптимизации рационального распределения и перераспределения ресурсов в условиях заданных ограничений. Алгоритм и программы расчета для машин «Минск-2» и М-20 в настоящее время уже имеются (см. Вычислительная и организационная техника в строительстве и проектировании. Вып. 6. М., Гипротис, 1965).

Программы позволяют получать информацию о ежедневном расходе до 30 видов материалов.

§ 6. Корректирование сети с учетом ограничений по денежным ресурсам

Планирование и контроль денежных ресурсов также обуславливаются общей структурой сетевого графика и его временными оценками. Поэтому наряду с указанием временных оценок на сетевой схеме проставляют данные о себестоимости каждой работы. Лучше всего эти данные помещать над стрелкой в прямоугольник, разделанный на две части.

В левую половину записывают планируемые затраты, принятые на стадии составления исходного плана, вторую половину заполняют постепенно фактическими данными по мере выполнения разработки. Такая форма

записи обеспечивает наглядную информацию о состоянии разработки на каждый отчетный период (рис. 51).

Корректирование сети по денежным ресурсам облегчает последующий процесс производственного планирования благодаря более упорядоченному распределению затрат. Установлено, что наибольшие затруднения при внедрении системы СПУ возникают из-за несоответствия плана в денежном выражении плану по номенклатуре, предусмотренной сетевым графиком.

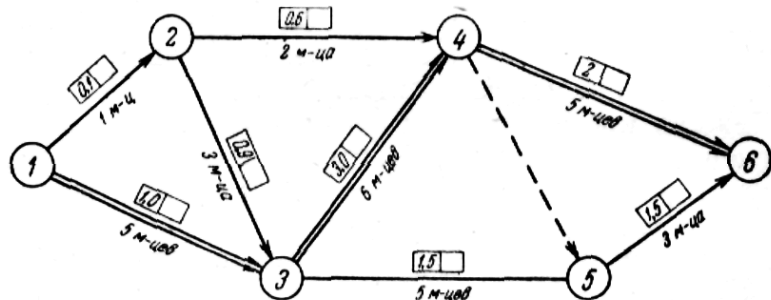


Рис. 51. Исходный сетевой план-график с указанием денежных затрат

В случаях, когда система СПУ уже внедрена, производственные планы следует составлять на основе разработанного и утвержденного сетевого графика. При этом руководители организации должны иметь некоторую свободу в части распределения годового фонда заработной платы.

Если же переход к сетевым методам планирования осуществляется впервые, то следует по возможности устранить несоответствие между утвержденными планами (годовыми, квартальными, месячными) и сетевым графиком. Это достигается корректированием сетевого графика по денежным ресурсам с учетом запланированных объемов работ в денежном выражении.

Выполним процедуру корректирования сети по денежным ресурсам для сетевого графика (см. рис. 51), на котором сроки выполнения укрупненных комплексов указаны в месяцах, а стоимость, проставленная в клетке, — в миллионах рублей. Так как числовые значения временных оценок указанного сетевого графика совпадают с аналогичными данными рис. 26, с той лишь разницей, что за единицу времени в данном случае принят один ме-

сяц вместо одного дня, то абсолютные значения всех ранее вычисленных расчетных параметров сети будут одинаковы и критический путь определится в 16 месяцев вместо 16 дней.

На основе исходного сетевого графика строится календарный план исходя из предположения, что в равные промежутки времени выполняются одинаковые объемы работ в денежном выражении (рис. 52). Подсчитанные суммарные затраты за каждый месяц показывают сильные колебания. Но достаточно передвинуть начало работы 2—4 на три месяца, а работы 3—5 — на один месяц вправо за счет имеющихся запасов времени, как положение выправляется.

Более равномерным получится и нарастание капиталовложений (см. жирную кривую на рис. 52).

Малый размер сети несколько снижает качество результата, а рассматривать здесь реальную сеть не представляется возможным. В реальных сетях, где количество ненапряженных работ составляет около 90%, необходимое распределение объемов работ в денежном выражении в процессе корректирования сети может быть достигнуто сравнительно легко.

К корректированию сетевых графиков приходится прибегать и при ограниченных ассигнованиях.

Предположим, что на предстоящий год может быть выделено для реализации данной разработки не более 7,5 млн. руб., а согласно сетевому графику годовая программа работ исчисляется в 8 млн. руб. (см. рис. 52). Это приводит к необходимости часть некритических работ, выполнение которых предусмотрено в конце предстоящего года, передвинуть на следующий год в пределах имеющихся частных резервов времени. Такая передвижка не отразится на конечном сроке выполнения всей разработки. В нашем примере достаточно работу 5—6, имеющую резерв два месяца, начать на один месяц позже. Это даст возможность уложиться в выделенный лимит ($8 - 0,5 = 7,5$ млн. руб.)

§ 7. Оптимизация сети по критерию «время — себестоимость»

Известно, что полная себестоимость разработки складывается из прямых затрат и накладных расходов.

С сокращением сроков выполнения разработки пря-

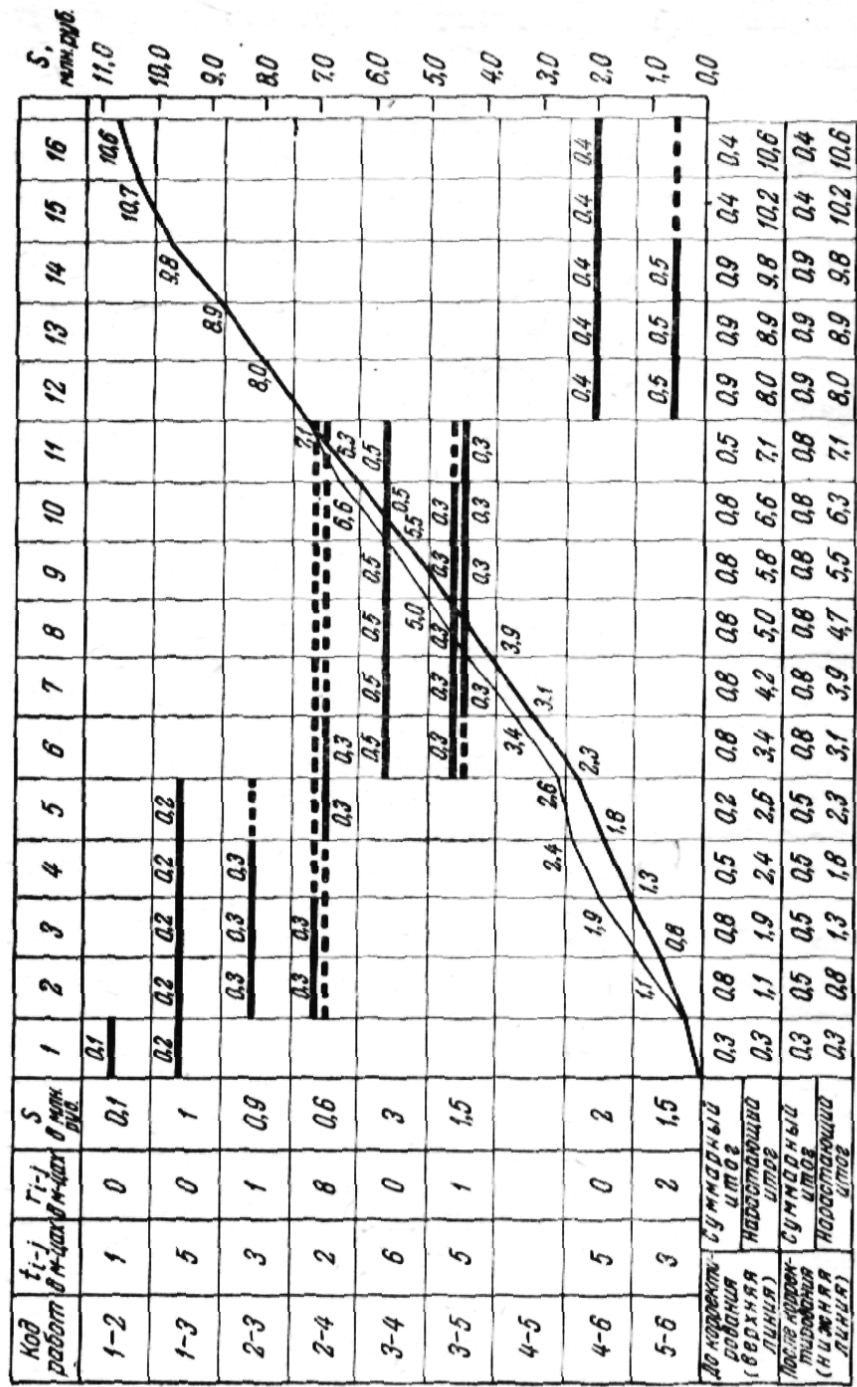


Рис. 52. Корректирование сетевого графика по денежным ресурсам

мые затраты, как правило, возрастают, а накладные расходы снижаются (кривые 1 и 2 на рис. 53).

Точка *B* на результирующей кривой характеризует оптимальную продолжительность работ, при которой себестоимость будет минимальной.

В настоящее время еще не найдено удовлетворительного решения, позволяющего выявить функциональную зависимость себестоимости от времени выполнения работ, хотя работы в этом направлении ведутся многими организациями.

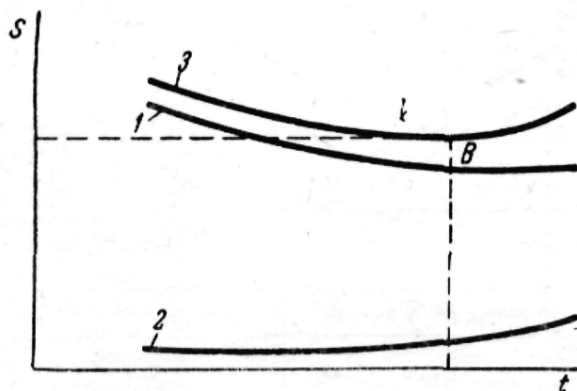


Рис. 53. Кривые зависимости затрат от сроков выполнения разработки:

1 — прямые затраты; 2 — накладные расходы;
3 — суммарные затраты

Ниже мы рассматриваем зависимость «время — себестоимость» применительно к прямым затратам.

Наиболее простая форма зависимости прямых затрат от продолжительности выполнения разработки характеризуется прямой *A—B*, соединяющей две точки кривой 1 (рис. 54).

Абсцисса точки *B* характеризует время выполнения работы при наименьших прямых затратах. Такой срок и затраты будем называть нормальными (S_n , T_n).

Точка *A* у начала крутого подъема кривой 1 соответствует кратчайшему сроку выполнения работы, являющимся предельным (T_n). При достижении этого срока отпуск дополнительных средств весьма незначительно отразится на уменьшении продолжительности работы, в связи с чем и прямые затраты при этом сроке следует считать предельными (S_n).

Между точками *A* и *B* лежит множество других всевозможных комбинаций «время — себестоимость». Помимо знания предельных величин продолжительности и затрат, вводится еще понятие наклона прямой «время — себестоимость» — *e*, представляющее собой показатель изменения величины себестоимости работы (прямых затрат) при изменении продолжительности ее на единицу

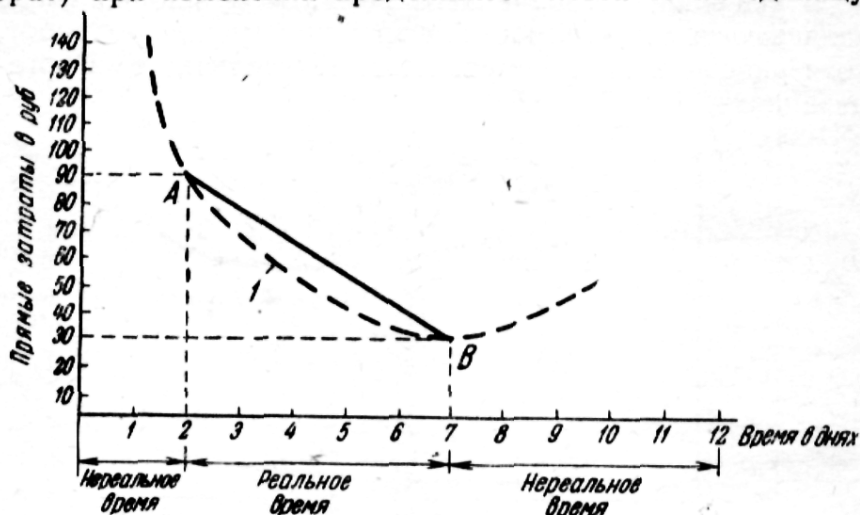


Рис. 54. Зависимость прямых затрат от времени:
 --- фактическая; — условная

времени. Другими словами, это есть отношение изменения себестоимости к изменению времени работ, или частное от деления разности затрат на разность сроков

$$e = \frac{S_n - S_n}{T_n - T_n}.$$

Так как между точками *A* и *B* проведена прямая, то наклон для каждой единицы времени будет величиной постоянной, хотя и несколько условной, так как вместо зависимости по кривой принята линейная зависимость.

Для прямой, представленной на рис. 54, наклон *e* будет равен

$$e = \frac{90 - 30}{7 - 2} = \frac{60}{5} = 12 \text{ руб./дней.}$$

Для того чтобы приступить к оптимизации сетевого графика по критерию «время — себестоимость», нужно предварительно вычислить примерные величины нор-

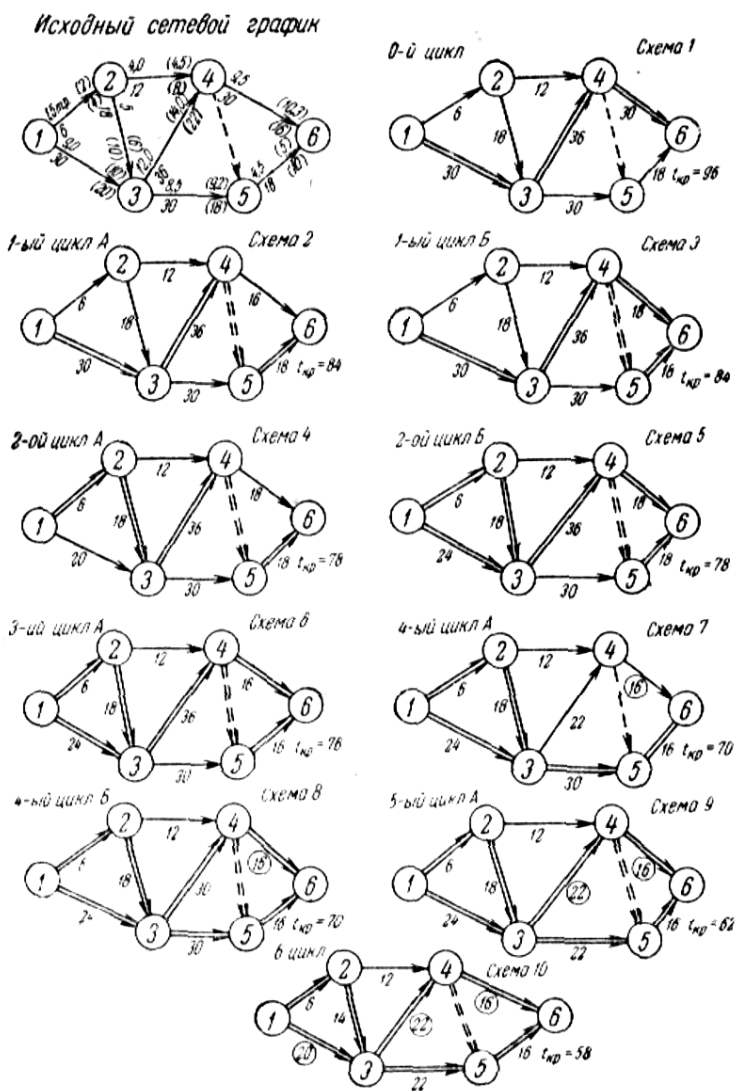


Рис. 55. Оптимизация сетевого графика по прямым затратам

мальных и предельных сроков и затрат для каждой работы. Они условно представлены на исходном сетевом графике (рис. 55), в котором над строчкой записаны затраты в тысячах рублей, а под строчкой — время в неделях. Цифры без скобок в том и другом случае характеризуют прямые затраты и время при нормальном режиме, а в скобках — при предельном режиме.

Сроки работ при предельном режиме сокращены произвольно, так как работы обезличены и отсутствуют данные об их нормальной и предельной продолжительности.

Конечная цель оптимизации по себестоимости заключается в построении кривой зависимости затрат от времени выполнения программы аналогично кривой, представленной на рис. 54. Каждая точка такой кривой должна выражать минимальные затраты для данного срока выполнения разработки.

Первоначально производим расчет сетевого графика для нормального и предельного режимов в табличной форме, принимая время в днях и выделяя критические работы (табл. 12 и 13).

Таблица 12

Расчет сети при нормальном режиме работы

Код работы	t_{l-j} при нормальном режиме, дней	Раннее начало (р.н)	Раннее окончание (р.о)	Позднее начало (п.н)	Позднее окончание (п.о)	Запас времени		Критические работы
						общий (к)	частный (г)	
1—2	6	0	6	6	12	6	0	
1—3	30	0	30	0	30	0	0	1—3
2—3	18	6	24	12	30	6	6	
2—4	12	6	18	54	66	48	48	
3—4	36	30	66	30	66	0	0	3—4
3—5	30	30	60	48	78	18	6	
4—5	0	66	66	78	78	12	0	
4—6	30	66	96	66	96	0	0	4—6
5—6	18	66	84	78	96	12	12	
6...		96						

Для получения начальной точки кривой принимаем за основу критическую продолжительность выполнения всей разработки при нормальном режиме и соответствующие этому режиму нормальные затраты. В результате расчетов получено, что общая продолжительность равна 96 дням (см. табл. 12), а нормальная общая стоимость, согласно данным сетевого графика, — 54 тыс. руб. (табл. 14).

Таким образом, начальная точка кривой зависимости времени и затрат будет иметь координаты, равные 96 дням и 54 тыс. руб.

Критическая продолжительность при предельном режиме работы равна 58 дням (см. табл. 13).

Таблица 13

Расчет сети при предельном режиме работы

Код работы	при t_{l-j} предельном режиме работы	р. н.	р. о	п. ч	п. о	R	r	Критические работы
1—2	4	0	4	6	10	6	0	1—3
1—3	20	0	20	0	20	0	0	
2—3	10	4	14	10	20	6	6	
2—4	8	4	12	34	42	30	30	
3—4	22	20	42	20	42	0	0	3—4
3—5	18	20	38	30	48	10	4	
4—5	0	42	42	48	48	6	0	
4—6	16	42	58	42	58	0	0	4—6
5—6	10	42	52	48	58	6	6	
6...		58						

Таблица 14

Исходные данные и предварительные расчеты
для проведения оптимизации по стоимости

Код работы	Нормальный режим работы		Предельный режим работы		Разность		Наклон ϵ (стоимость на 1 день, руб)
	время	стоимость, тыс. руб.	время	стоимость, тыс. руб.	время	стоимость, тыс. руб.	
1—2	6	1,5	4	2	2	0,5	0,25 = 250
1—3	30	9,0	20	10	10	1	0,10 = 100
2—3	18	5,0	10	6	8	1	0,125 = 125
2—4	12	4,0	8	4,5	4	0,5	0,125 = 125
3—4	36	12,0	22	14,0	14	2,0	0,143 = 143
3—5	30	8,5	18	9,2	12	0,7	0,058 = 58
4—5	0	0	0	0	0	0	0
4—6	30	9,5	16	10,3	14	0,8	0,057 = 57
5—6	18	4,5	10	5	8	0,5	0,062 = 62
		54,0		61,0			

Однако суммирование предельных затрат по работам не даст наименьшей величины затрат всей разработки в предельный срок, так как нет необходимости держать каждую работу на пределе, чтобы завершить всю программу в предельный срок.

Конечная точка кривой зависимости «время — себестоимость» не может быть рассчитана заранее. Чтобы построить такую кривую, нужно составить ряд таблиц с расчетными данными.

Определение сроков и затрат — это циклический процесс, который начинается с нормальной продолжительности и соответствующей величины себестоимости разработки.

В каждом цикле продолжительность выполнения программы сокращается, но при этом расходы на единицу времени растут.

Это продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто предельное время окончания всех работ, т. е. 58 дней (критическая продолжительность).

Прежде всего для каждого цикла необходимо выделить работы, по которым должна быть уменьшена продолжительность, чтобы сокращение общего срока выполнения программы сопровождалось наименьшими дополнительными затратами.

Анализ показывает, что эти работы должны отвечать следующим требованиям.

1. Быть критическими, так как уменьшение их продолжительности сокращает общий срок выполнения разработки.

2. Их продолжительность при ускорении хода работ не должна стать меньше предельной.

3. Затраты, приходящиеся на единицу сокращения продолжительности этих работ, должны быть по возможности минимальными.

После этого необходимо выяснить, на сколько может быть сокращена продолжительность работы или комбинация работ по каждому циклу. Эта задача решается с учетом двух условий. Устанавливается величина возможного уменьшения продолжительности каждой работы, т. е. разность между нормальной и предельной продолжительностью. При этом в первую очередь выбираются также работы, которые характеризуются минимальными удельными затратами, т. е. минимальным наклоном e .

Одновременно определяют число дней, на которое фактически можно уменьшить продолжительность одной или нескольких рассматриваемых работ. Умножая число дней на стоимость одного дня, получаем величину дополнительных расходов. В результате выполнения таких расчетов получаем последовательно по каждому циклу продолжительность выполнения программы и соответствующие ей затраты, т. е. каждый раз находим следующую точку построения кривой «время — себестоимость».

Расчет себестоимости разработки, соответствующей предельному сроку в 58 дней, производится в шесть циклов.

1-й цикл. Из схемы 1 (см. рис. 55, нулевой цикл) видно, что критический путь проходит по работам 1—3; 3—4 и 4—6. Выбираем работу с наименьшим наклоном (см. табл. 14). Это работа 4—6, она имеет наклон 57 руб./дней. Из этой же таблицы видно, что предельно эту работу можно сократить на 14 дней. Пересчитываем сетевой график с предельным значением времени для работы 4—6, равным $t_{4-6} = 16$ (табл. 15). При этом замечаем, что критический путь изменил свое направление (см. рис. 55,

Таблица 15

А. Предварительные расчеты по 1-му циклу

Код работы	Продолжительность критических работ в 0-м цикле		Разница продолжительностей критических работ	Наклоны критических работ, руб./дней	Предполагаемое сокращение времени критических работ	Предполагаемая продолжительность работ в 1-м цикле	Время	
	при нормальном режиме	при предельном режиме					начала работ	окончания работ
1—2						6	0	6
1—3	30	20	10	100		30	0	30
2—3						18	6	24
2—4						12	6	18
3—4	36	22	14	143		36	30	66
3—5						30	30	60
4—5						0	66	66
4—6	30	16	14	57	14	16	66	82
5—6						18	66	84

схему 2). Общая продолжительность выполнения разработки стала равна 84 дням, т. е. меньше первоначального срока (96 дней) на 12 дней, а не на 14. Из этого следует, что держать работу 4—6 на предельно коротком сроке нет необходимости. Достаточно сократить ее продолжительность на время сокращения программы в целом, т. е. на 12 дней.

Пересчитываем сетевую схему при значении $t_{4-6}'' = 30 - 12 = 18$ дням.

Получаем общий срок выполнения разработки, равный 84 дням (табл. 16 и схема 3, рис. 55). Число критических работ при этом увеличилось до пяти.

2-й цикл. Проанализируем схему 3. В ней имеется два критических пути. Первый проходит по работам 1—3; 3—4; 4—6; второй — по работам 1—3; 3—4; 4—5; 5—6. Минимальные наклоны имеют на первом пути работа 4—6 (наклон 57 руб/дней) и на втором пути — работа 5—6 (наклон 62 руб/дней).

Для дальнейшего сокращения общего срока программы необходимо уменьшить продолжительность работ, лежащих на обоих критических путях. Если принять работы 4—6 и 5—6, то каждый день сокращения общей продолжительности приведет к удорожанию стоимости $57 + 62 = 119$ руб/дней.

Более целесообразен другой вариант, по которому принимается в основу работа 1—3, принадлежащая обо-

Таблица 16

Б. Окончательные расчеты по 1-му циклу

код работы	Продолжительность работ при принятом режиме работы	р. н	р о	п н	п о	к	г	Критические работы
1—2	6	0	6	6	12	6	0	
1—3	30	0	30	0	30	0	0	1—3
2—3	18	6	24	12	30	6	6	
2—4	12	6	18	54	66	48	48	
3—4	36	30	66	30	66	0	0	3—4
3—5	30	30	60	36	66	6	6	
4—5	0	66	66	66	66	0	0	4—5
4—6	18	66	84	66	84	0	0	4—6
5—6	18	66	84	66	84	0	0	5—6

им путям и имеющая меньший наклон ($100 < 119$). В этом случае каждый день уменьшения продолжительности выполнения разработки потребует дополнительных вложений, равных 100 руб. Сокращение продолжительности при этом согласно табл. 15 равно 10 дням. Рассчитываем схему 4 (рис. 55) при $t'_{1-3} = 30 - 10 = 20$ дням. Получаем продолжительность разработки 78 дней (на шесть дней меньше по сравнению со сроком 84 дня, рассчитанным в 1-м цикле). Следовательно, продолжительность работы 1—3 достаточно сократить на шесть дней вместо 10. После проверки получаем, что при продолжительности работы 1—3, равной $30 - 6 = 24$ дням, общий срок будет составлять 78 дней (табл. 17).

Таблица 17

А. Предварительные расчеты по 2-му циклу

Код работы	Продолжительность критических работ в 1-м цикле		Разница продолжительностей критических работ	Наклоны критических работ	Предполагаемое сокращение времени критических работ	Предполагаемая продолжительность работ во 2-м цикле	Раннее время	
	при принятом режиме работы	при предельном режиме работы					начала работ	окончания работ
1—2						6	0	6
1—3	30	20	10	100	10	20	0	20
2—3						18	6	24
2—4						12	6	18
3—4	36	22	14	143		36	24	60
3—5						30	24	54
4—5						0	60	60
4—6	18	16	2	57		18	60	78
5—6	18	10	8	62		18	60	78

3-й цикл. Проанализируем схему 5 (см. рис. 55), построенную по данным табл. 18. В ней имеется четыре критических пути.

1-й путь 1—2; 2—3; 3—4; 4—6;
 2-й » 1—2; 2—3; 3—4; 4—5; 5—6;
 3-й » 1—3; 3—4; 4—6;
 4-й » 1—3; 3—4; 4—5; 5—6;

Б. Окончательные расчеты по 2-му циклу

Код работы	Продолжительность работы при принятом режиме работы							Критические работы
		<i>p. н</i>	<i>p. о</i>	<i>п. н</i>	<i>п. о</i>	<i>к</i>	<i>г</i>	
1—2	6	0	6	0	6	0	0	1—2
1—3	24	0	24	0	24	0	0	1—3
2—3	18	6	24	6	24	0	0	2—3
2—4	12	6	18	48	60	42	42	
3—4	36	24	60	24	60	0	0	3—4
3—5	30	24	54	30	60	6	6	
4—5	0	60	60	60	60	0	0	4—5
4—6	18	60	78	60	78	0	0	4—6
5—6	18	60	78	60	78	0	0	5—6

Общей для всех этих путей является работа 3—4 с наклоном 143 руб./дней. Однако при дальнейшем анализе устанавливаем, что наклон работы 4—6, общей для 1-го и 3-го путей ($e_{4-6}=57$), и работы 5—6, общей для 2-го и 4-го путей ($e_{5-6}=62$ руб.), в сумме ($57+62=119$) дают величину меньше наклона работы 3—4 ($119 < 143$). Следовательно, за основу следует принять работы 4—6 и 5—6.

Предполагаемое время сокращения критического пути, рассчитанное по работе 4—6, принимается равным 2 дням ($18-16=2$) — табл. 19.

Новая продолжительность разработки составляет 76 дней и отличается от предыдущей на 2 дня, т. е. как раз на величину, принятую при сокращении работы 4—6 до ее предела, следовательно, пересчитывать не нужно и при переходе к 4-му циклу остаются те же четыре критических пути (табл. 20).

Обращаем внимание на то, что работа 4—6 достигла своего предела и из дальнейшего расчета исключается.

Расчет 4, 5 и 6-го циклов аналогичен, он представлен в табл. 21, 22, 23, 24, 25 и на схемах 6, 7, 8, 9 и 10 рис. 55.

Таблица 19

А. Предварительные расчеты по 3-му циклу

Код работы	Продолжительность работ во 2-м цикле		Разница продолжительностей критических работ	Наклоны критических работ	Предполагаемое сокращение времени критических работ	Предполагаемая продолжительность работ в 3-м цикле	Раннее время	
	при принятом режиме	при предельном режиме					начала работ	окончания работ
1—2	6	4	2	250		6	0	6
1—3	24	20	4	100		24	0	24
2—3	18	10	8	125		18	6	24
2—4						12	6	18
3—4	36	22	14	143		36	24	60
3—5						30	24	54
4—5						0	60	60
4—6	18	16	2	57	2	16	60	76
5—6	18	10	8	62	2	16	60	76

Таблица 20

Б. Окончательные расчеты по 3-му циклу

Код работы	Продолжительность работ при принятом режиме	D. н	D. о	Л. н	Л. о	K	r	Критические работы
1—2	6	0	6	0	6	0	0	1—2
1—3	24	0	24	0	24	0	0	1—3
2—3	18	6	24	6	24	0	0	2—3
2—4	12	6	18	48	60	42	42	
3—4	36	24	60	24	60	0	0	3—4
3—5	30	24	54	30	60	6	6	
4—5	0	60	60	60	60	0	0	4—5
4—6	16	60	76	60	76	0	0	4—6
5—6	16	60	76	60	76	0	0	5—6

А. Предварительные расчеты по 4-му циклу

Код работы	Продолжительность критических работ в 3-м цикле		Разница продолжительностей критических работ	Наклоны критических работ	Предполагаемое сокращение времени критических работ	Предполагаемая продолжительность работ в 4-м цикле	Раннее время	
	при принятом режиме	при предельном режиме					начала работ	окончания работ
1—2	6	4	2	250		6	0	6
1—3	24	20	4	100		24	0	24
2—3	18	10	8	125		18	6	24
2—4						12	6	18
3—4	36	22	14	143	14	22	24	46
3—5						30	24	54
4—5						0	46	46
4—6	16	16	0	57		16	46	62
5—6	16	10	6	62		16	54	70

Таблица 22

Б. Окончательные расчеты по 4-му циклу

Код работы	Продолжительность работ при принятом режиме	D. H	D. O	L. H.	L. O	R	r	Критические работы
1—2	6	0	6	0	6	0	0	1—2
1—3	24	0	24	0	24	0	0	1—3
2—3	18	6	24	6	24	0	0	2—3
2—4	12	6	18	42	54	36	36	
3—4	30	24	54	24	54	0	0	3—4
3—5	30	24	54	24	54	0	0	3—5
4—5	0	54	54	54	54	0	0	4—5
4—6	16	54	70	54	70	0	0	4—6
5—6	16	54	70	54	70	0	0	5—6

А. Предварительные расчеты по 5-му циклу

Код работы	Продолжительность критических работ в 4-м цикле		Разница продолжительностей критических работ	Наклон критических работ	Предполагаемое сокращение времени критических работ	Предполагаемая продолжительность работ в 5-м цикле	Раннее время	
	при принятом режиме	при предельном режиме					начала работ	окончания работ
1—2	6	4	2	250		6	0	6
1—3	24	20	4	100		24	0	24
2—3	18	10	8	125		18	6	24
2—4						12	6	18
3—4	30	22	8	143	8	22	24	46
3—5	30	18	12	58	8	22	24	46
4—5	0	0	0			0	46	46
4—6	16	16	0	57		16	46	62
5—6	16	10	6	62		16	46	62

Таблица 24

Б. Окончательные расчеты по 5-му циклу

Код работы	Продолжительность работ при принятом режиме	D.M	D.C	L.H	L.C	R	r	Критические работы
1—2	6	0	6	0	6	0	0	1—2
1—3	24	0	24	0	24	0	0	1—3
2—3	18	6	24	6	24	0	0	2—3
2—4	12	6	18	34	46	28	28	
3—4	22	24	46	24	46	0	0	3—4
3—5	22	24	46	24	46	0	0	3—5
4—5	0	46	46	46	46	0	0	4—5
4—6	16	46	62	46	62	0	0	4—5
5—6	16	46	62	46	62	0	0	5—6

Предварительные расчеты по 6-му циклу

Код работы	Продолжительность критических работ в 5-м цикле		Разница продолжительностей критических работ	Наклоны критических работ	Предполагаемое сокращение времени критических работ	Предполагаемая продолжительность работ в 6-м цикле	Раннее время	
	при принятом режиме	при предельном режиме					начала работ	окончания работ
1—2	6	4	2	250		6	0	6
1—3	24	20	4	100	4	20	0	20
2—3	18	10	8	125	4	14	6	20
2—4						12	6	18
3—4	22	22	0	143		22	20	42
3—5	22	18	4	58		22	20	42
4—5	0					0	42	42
4—6	16	16	0	57		16	42	58
5—6	16	10	6	62		16	42	58

Пояснения к таблицам:

1. При расчете 4-го цикла за основу принимается работа 3—4 с наклоном 143 руб/дней; критическая продолжительность $t_{кр} = 70$ дням; разница критических путей составляет $76 - 70 = 6$ дням; работа 3—4 сокращается до $36 - 6 = 30$ дней.

2. При расчете 5-го цикла за основу принимаются работы 3—4 и 3—5 с суммарным наклоном 201 руб/дней, так как из шести критических путей с продолжительностью 62 дня работа 3—4 входит в состав четырех, а работа 3—5 — в состав двух путей; разница критических путей составляет $70 - 62 = 8$ дней; расчетные продолжительности работ 3—4 и 3—5 равны $30 - 8 = 22$ дням.

3. При расчете 6-го цикла за основу принимаются работы 1—3 и 2—3 с суммарным наклоном 225 руб/дней; критическая продолжительность достигает своего предельного значения (58 дней); все работы, кроме одной (2—4), являются критическими, из них три (1—3, 3—4 и 4—6) достигают своих предельных значений.

На основе полученных расчетных данных составляется сводная таблица 26, в которой подсчитана полная суммарная величина прямых затрат на выполнение разра-

Сводные расчетные данные по циклам

Циклы	Работы и их сочетания с минимальным наклоном стоимости	Возможное сокращение продолжительности работ	Принятое число дней для сокращения	Стоимость дня одной или нескольких работ (наклон, руб./дней)	Полное изменение стоимости, тыс. руб.	Общая стоимость разработки, тыс. руб.	Общая продолжительность выполнения разработки для каждого цикла, дней
0						54	Норм. 96
1	4—6	14	12	57	0,684	54,684	84
2	1—3	10	6	100	0,600	55,284	78
3	4—6; 5—6	2; 8	2	119	0,238	55,522	76
4	3—4	14	6	143	0,858	56,380	70
5	3—4; 3—5	8; 12	8	201	1,608	57,988	62
6	1—3; 2—3	4; 10	4	225	0,900	58,888	Предел 58

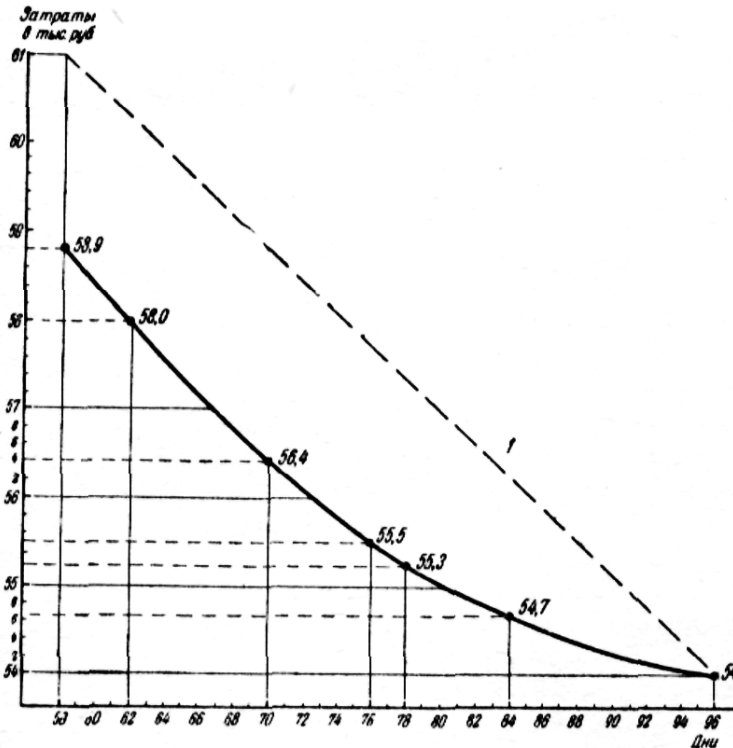


Рис. 56. Кривая зависимости «время — себестоимость»

ботки в зависимости от срока. По данным этой таблицы строится искомая кривая зависимости «время — себестоимость» (рис. 56).

Таким образом, сокращение срока выполнения разработки с 96 дней до предельной величины — 58 дней, т. е. на 38 дней, вызвало ее удорожание на 4888 руб. ($58\ 888 - 54\ 000 = 4888$).

На рис. 56 приведена прямая, характеризующая возрастание затрат при предельном сроке выполнения всех работ, что говорит о неэкономичности подобного решения.

Произведенный расчет показывает, что удорожание фактически получается меньше, чем если бы мы приняли предельные значения прямых затрат по всем работам. Экономия составляет 2,1 тыс. руб. ($61 - 58,9 = 2,1$).

Анализ, произведенный на примере даже небольшой сети, показывает, что по мере сокращения общей продолжительности работ затраты возрастают непропорционально. Например, уменьшение сроков разработки с 16 до 15 недель потребовало дополнительных капитальных вложений всего лишь 0,25 тыс. руб., а при уменьшении с 11 до 10 недель (т. е. также на одну неделю) — уже 1,25 тыс. руб.

Аналогичные действия выполняются при нахождении соответствующих точек для построения кривой зависимости накладных расходов от времени. В этом случае из первоначальной величины накладных расходов, отвечающей нормальному сроку выполнения комплекса работ, последовательно вычитаются те их значения, которые показывают, насколько с сокращением срока разработки уменьшаются накладные расходы.

На основе двух кривых, характеризующих зависимость прямых затрат и накладных расходов от продолжительности разработки, строится суммарная кривая зависимости полной себестоимости разработки от сроков ее выполнения (см. рис. 53).

По этой кривой легко найти минимальное значение себестоимости и соответствующую ей оптимальную продолжительность разработки.

Рассмотренный пример оптимизации по зависимости «время-себестоимость» иллюстрирует необходимость применения более сложного алгоритма решения задачи, чем при методе планирования только по критерию «время».

Значительно усложняется и программа обработки информации на ЭВМ.

Вместе с тем этот пример доказывает возможность перехода от планирования по критерию «время» к планированию по критерию «время — себестоимость».

Применение этого метода требует предварительной разработки и накопления нормативных и фактических данных о нормальных и предельных сроках и затратах по каждой разновидности работ того или иного комплекса.

Глава V

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ВВОДУ В ДЕЙСТВИЕ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ

§ 1. Оперативное управление и контроль за ходом выполнения разработки

• Стадия оперативного управления разработками начинается с момента утверждения исходного сетевого плана после его корректирования и кончается завершением всех работ.

Задачей оперативного управления является оценка создавшейся ситуации, контроль за фактическим состоянием работ, выявление и анализ возникающих изменений, корректирование плана графика и перераспределение ресурсов.

Оперативность управления разработкой во многом зависит от постановки службы информации.

Объем информации, ее содержание должны дифференцироваться применительно к различным уровням руководства, информация должна быть предельно четкой.

При использовании ЭВМ все данные исходного плана, а также вся поступившая за прошлые периоды информация хранятся в «памяти» машины или специальных картотеках (перфокартах и перфолентах). Это значительно сокращает поток входной оперативной информации и затраты времени ответственных исполнителей на ее составление. По существу исполнитель сообщает сведения об оставшейся продолжительности по каждой работе на данный отчетный период.

Периодичность информации принимается разная в зависимости от степени оперативности управления работа-

ми. Чаще всего она принимается равной неделе или 10 дням.

Очередная информация о ходе выполнения разработки подготавливается и представляется в планирующий центр ответственными исполнителями обычно за два дня до окончания текущей недели или декады. При этом соблюдается правило, что по каждой группе работ информацию дает только одно лицо.

Информация, представленная ответственными исполнителями, должна содержать сведения не только о состоянии уже выполненных работ и непосредственно следующих за ними, но также и сведения о предполагаемых изменениях в характере и ходе работ.

Вся передаваемая информация может использоваться для:

1) пересмотра сети вследствие уточнения отдельных деталей разработки, которые не были ясны при составлении исходного сетевого плана. В связи с этим возможно появление новых работ и событий, изменение взаимосвязей, а следовательно, и топологии сети на отдельных ее участках;

2) пересмотра временных оценок, так как по ходу работ возможно их изменение и уточнение в связи с возникновением непредвиденных обстоятельств, например поломка машины;

3) изменения сроков поставки в связи с дополнительными сообщениями поставщиков по ходу выполнения разработки;

4) полного или частичного завершения тех или иных видов работ.

Информация, как правило, дается в закодированном виде.

В качестве примера можно привести следующий однозначный цифровой код для обозначения состояния работ, принятый в Госмонтажспецстрое:

0 — работа отпала;

1 — дополнительная работа, введенная вновь, выявившаяся в процессе производства;

2 — работа идет с опозданием или не выполняется;

3 — работа идет по плану;

4 — работа выполняется с опережением;

5 — работа закончена.

В информации важно передать не только сам факт

задержки выполнения работы, но и ее причину. Для обозначения наиболее часто встречающихся причин невыполнения применяется система двузначных кодов:

- 11 — непоставка оборудования;
- 22 — отсутствие документации;
- 33 — отсутствие материалов;
- 44 — недостаточное количество рабочих;
- 55 — недостаточное количество машин;
- 66 — фактор погоды (для строительства);
- 77 — отсутствие фронта работ;
- 88 — прочие причины.

Каждая очередная прямая информация представляется ответственными исполнителями по форме, приведенной в табл. 27.

Таблица 27

Информационная карточка

Шифр объекта, участка, блока, узла	Шифр организации	Шифр ответственного исполнителя	Номер информации	Дата информации
07	09	023	10	2/IX

Код работы		Состояние работы и причины опоздания (невыполнения)	t_{i-j} план. срок	Календарное окончание (плановое) число, месяц	Прогноз		Резерв времени		Примечание
начало	конец				t_{i-j}	дата окончания, число, месяц	предшествующий	оставшийся	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
049	250	2 11	17	08 09	25	16 09	20	12	
266	270	3	15	04 09	—	—	10	10	

Данные граф 1, 2, 4, 5, а также шапка карточки представляются заранее службой СПУ.

На долю ответственного исполнителя остаются гр. 3 и 6, причем гр. 6 он в ряде случаев заполняет вместе с главным инженером, если работа связана с внешними

поставками. Данные гр. 6 самые важные: они определяют весь дальнейший ход разработки.

В ряде случаев оперативная информация еще более лаконична. В ней отмечаются только законченные работы (нулем) и работы с изменившейся продолжительностью.

Название новых работ и событий фиксируют в информационной карточке новым порядковым номером, следующим за номером конечного события сетевого графика, если для него принята сплошная порядковая нумерация. Набор информационных карточек создает своеобразную историю разработки, т. е. иллюстрирует развитие сетевого графика и одновременно представляет собой ценный исходный материал для последующего анализа и обработки в целях создания различных нормативов для будущих аналогичных работ.

Информационные карточки освобождают ответственного исполнителя от составления иной отчетной документации.

Собранная от ответственных исполнителей очередная информация о ходе работ передается в вычислительный центр (ВЦ).

Для нормального процесса управления необходима своевременная передача информации, поэтому в первую очередь следует создать систему связи как один из весьма важных элементов управления.

Выбор способа и технических средств связи для передачи информации зависит от масштаба разработки (количества работ и событий в сети), количества и территориального расположения организаций — участников разработки и ответственных исполнителей.

При расположении ВЦ в том же населенном пункте информация может быть передана по телефону либо нарочным. Если ВЦ находится в другом городе, информация передается по междугородному телефону, телеграфу, фототелеграфу, телетайпу, радио и авиапочтой применительно к конкретным местным условиям.

В стадии разработки находится вопрос о переходе к автоматизированной системе управления, предусматривающей комплексное решение задачи по сбору, передаче и обработке информации. Такая система характеризуется прежде всего наличием диспетчерских служб и совершенных технических средств связи во всех подразделениях,

обеспечивающих быструю передачу информации в информационно-вычислительный центр.

Возможность получения всеми заинтересованными ведомствами единой информации по всем контролируемым вопросам из одного источника в твердо установленные сроки неизбежно приведет к резкому повышению управляемости. В настоящее время первые шаги по созданию такой системы сделаны Гипротисом Госстроя СССР.

Назрела необходимость создания единой информационно-вычислительной системы для обслуживания отраслей народного хозяйства.

При машинной обработке сетевого графика вся получаемая информация может быть разделена на два основных класса:

1. Информация о ходе работ, не требующих изменения топологии сети. Это информация о завершении работ (полном или частичном) и об исключении работ из плана, если по ходу дела выясняется, что необходимость в них отпала.

2. Информация о ходе работ, требующая изменений топологии сети. Это информация о новых работах и событиях, ранее не учтенных планом.

Информация о завершенных работах может быть введена в машину двояко:

а) путем замены существующих перфокарт завершенных работ новыми перфокартами с нулевыми временными оценками;

б) путем изъятия существующих перфокарт завершенных работ.

Информация о частично завершенных работах вводится в машину путем замены существующих перфокарт новыми перфокартами с измененными временными оценками.

Таким образом, в процессе периодической обработки информации сеть меняет свое лицо, т. е. с каждой новой информацией либо сокращается число работ (в случае изъятия существующих перфокарт завершенных работ), либо все большее число работ получает нулевую временную оценку (в случае замены существующих перфокарт завершенных работ новыми перфокартами с нулевыми временными оценками).

Каждой очередной информации соответствует новая дата начального события сети (как в случае замены пер-

фокарт завершенных работ перфокартами с нулевыми временными оценками, так и в случае изъятия перфокарт завершенных работ).

Длину нового критического пути можно отсчитывать или от первоначальной даты начала работ или от даты очередной выдачи обработанной информации. После соответствующей обработки вычислительный центр выдает обратную информацию (выходную) в виде ленты.

Передача выходной (обратной) информации на места может осуществляться по тем же каналам связи, по которым передавалась и прямая информация.

Минимальный объем выходной информации, как правило, включает: а) показатели по работам (все ранние и поздние сроки их начала и окончания в рабочих днях и календарных датах и все виды резервов); б) перечень работ критического пути и критической зоны, упорядоченный по срокам начала работ; в) сроки свершения важнейших событий и конечного события.

Выходная информация, полученная с машины, должна быть доведена до сведения всех заинтересованных лиц. Так как структура системы СПУ носит иерархический характер, то для каждого уровня руководства требуется информация в том объеме, который необходим для анализа и принятия решений по вверенному участку.

Одновременно эта информация должна обеспечить концентрацию внимания руководителей всех уровней и ответственных исполнителей на наиболее напряженных участках работ, информация о которых должна быть более детальной.

Обычно используют три степени детализации выходной сводно-аналитической информации, каждая из которых соответствует определенному уровню руководства.

Ответственные исполнители получают наиболее детализированную информацию, позволяющую оценить состояние каждого из закрепленных за ними участков работ и его положение в сводной сети общего комплекса работ.

Руководители организаций-смежников получают информацию, позволяющую дать общую оценку состояния закрепленных за данной организацией частей общего комплекса работ. Она содержит наиболее подробные сведения по граничным событиям, которыми определяются

связи данной организации с другими организациями, а также сведения о работах данной организации, попавших на критический путь или в критическую зону.

Руководитель головной организации (генеральный разработчик) получает детальную информацию только по работам критической зоны. Остальная часть информации дается укрупненно по наиболее важным элементам, этапам, граничным событиям.

Такое построение выходной информации позволяет сосредоточивать внимание на наиболее трудных участках.

После получения преобразованной информации о ходе разработки наступает наиболее ответственный этап оперативного управления — обновление сетевого графика, его корректирование, нахождение в необходимых случаях новых решений, обеспечивающих выполнение работ в заданные сроки и др.

Корректирование первичных сетевых графиков осуществляют ответственные исполнители, частных сетевых графиков—служба СПУ организаций-смежников, и сводный сетевой график корректируется центральной службой СПУ при головной организации.

Обновление сетевого графика заключается в изменении критического пути и резервов времени, во введении дополнительных работ и в возможном аннулировании некоторых старых, в изменении временных оценок и взаимосвязей и др.

Обновление сети неизбежно, так как нельзя полностью предвидеть ход работ на весь период производства.

Возникающие отклонения от исходного плана следует рассматривать как закономерное явление. Однако, чем тщательнее будет составлен исходный сетевой график, тем меньше от него будет отличаться последующий, который надо рассматривать не как график-план, а как график-прогноз.

На основе анализа данных обработанного сетевого графика намечаются рекомендации для принятия решений. Подготовленные мероприятия обсуждаются на оперативных совещаниях при головном разработчике, где утверждаются принятые решения, на основе которых каждому ответственному исполнителю выдают план-задание. На оперативные совещания, где рассматриваются главным образом отклонения от первоначального плана, обычно вызывают исполнителей и представителей органи-

заций-смежников, работы которых находятся в критической зоне.

В связи с тем что на сбор, обработку и анализ информации, на корректирование и оптимизацию сетевого графика, на выработку и принятие решений затрачивается определенное время, в течение которого производство продолжает идти прежним курсом, получается разрыв между плановым и отчетным периодами.

Заслуживает внимание предложение ВЦ МИЭИ по увязке периодов сбора и выдачи информации. Лучше всего проследить его на графическом примере (рис. 57).

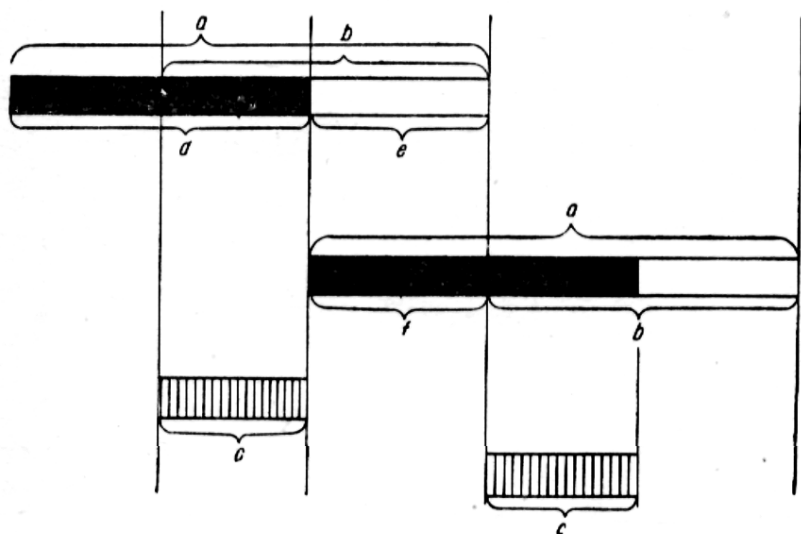


Рис. 57. График сбора и выдачи информации

В практике строительства, например, плановый период чаще всего принимается равным 10 дням (a), а отчетный — 7 дням (b).

Допустим, что время, необходимое для сбора входной информации, обработки и выдачи сводной (выходной) информации, согласно принятым первоначальным установкам составляет три дня (c).

Весь плановый период (10 дней) разбивается на два неравных отрезка времени (d) и (e).

Большой отрезок (d) представляет собой интервал времени, в течение которого плановое задание корректировке не подлежит. В течение меньшего отрезка времени

(e) плановое задание корректируется и включается в следующее новое плановое задание. Величина остатка старого текущего планового задания устанавливается путем прогноза в период сбора информации.

Таким образом, каждое следующее плановое задание включает в себя скорректированный остаток предшествующего (f), благодаря чему осуществляется систематическое регулирование сетевого плана по ходу его выполнения.

Рекомендуется для сопоставления хода производства с исходным сетевым планом отмечать на нем фактическое

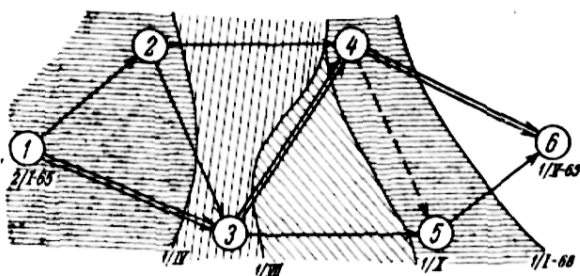


Рис. 58. Схема готовности объектов

состояние работ после каждой очередной информации. С этой целью на первоначальный сетевой график всякий раз наносится линия фронта работ. Выполненную часть работ для наглядности заштриховывают цветными карандашами (рис. 58). Иногда заштриховывают только выполнение событий, а на работах проставляют рядом с плановым временем фактическое время в скобках.

Очень удобно для контроля, оперативного планирования и управления пользоваться сетевым графиком с нанесенной календарной сеткой (рис. 59).

§ 2. Организационные мероприятия по разработке и вводу в действие сетевых графиков

Система СПУ может эффективно функционировать только в условиях четкой и согласованной работы всех звеньев, обеспечения ритмичных потоков достоверной информации и контроля за выполнением принятых решений.

Для осуществления мероприятий по разработке и вводу в действие сетевых графиков издается совместный при-

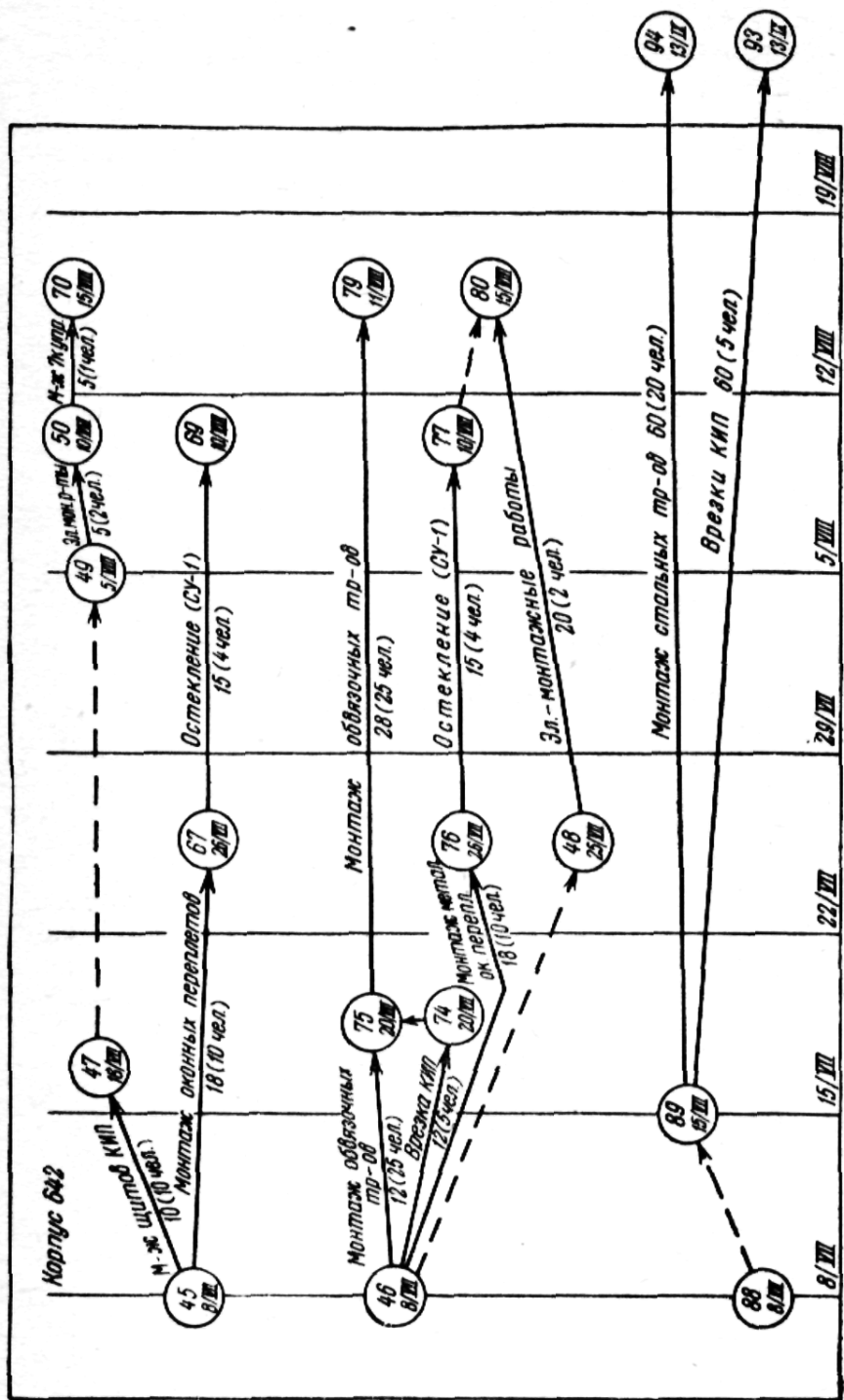


Рис. 59. Участок сети по комплексу производства мочевины 180 тыс. т в год Новомосковского химкомбината

каз ведущих организаций, обязательный для всех участников разработки, в том числе и для заказчика. Если сетевое планирование только внедряется, приказ издается за тремя подписями (например, в условиях строительства — за подписью начальника главного территориального строительного управления, начальника производственно-распорядительного управления и руководителя ведомства заказчика).

В приказе назначается руководитель всей разработки, устанавливается состав служб СПУ на разных уровнях руководства и выделяются ответственные исполнители.

Руководителем разработки обычно назначают главного инженера треста. При нем создается центральная служба СПУ (ЦСПУ) или так называемая оперативно-диспетчерская группа (ОДГ) в составе трех-четырех человек: начальника технического отдела треста или главного технолога (руководитель группы), инженера группы ПОР треста и одного-двух инженеров оргтехстроя.

Служба СПУ создается также при руководителях подразделений субподрядных организаций в зависимости от объема работ и количества контролируемых разработок в количестве одного-двух человек.

Службы СПУ создаются и при вычислительном центре.

Все виды службы СПУ не подменяют существующих органов административно-управленческого аппарата, а выполняют главным образом контрольные функции.

Концентрируя у себя большой объем информации о состоянии дела, службы СПУ значительно облегчают работу как непосредственных руководителей производства, так и различных отделов (ПТО, планового), предоставляя им необходимую информацию.

Работники службы СПУ должны хорошо знать технологию и организацию работ данного комплекса; изучить систему СПУ и в совершенстве овладеть методами построения и анализа сетей; знать основы машинной обработки информации и расчета параметров сетевого графика.

Функция и обязанности служб СПУ определяются стадией функционирования системы. На стадии подготовки системы СПУ к вводу в действие на центральную службу СПУ возлагается: оформление всей технической документации и ее размножение; обучение персонала

службы СПУ, подготовка приказа и плана оргтехмероприятий по внедрению системы в действие.

На стадии создания исходного плана разработки составляют структурную схему («дерево разработки»), собирают от ответственных исполнителей и организаций-смежников первичные и частные сетевые графики, подготавливают программу расчетов применительно к имеющейся в распоряжении организации ЭВМ.

В обязанности центральной службы СПУ входит составление сводного сетевого графика, его оптимизация с привлечением ответственных исполнителей и руководителей подразделений, неоднократный просчет на ЭВМ и, наконец, доведение утвержденного сетевого графика до всех исполнителей.

На стадии оперативного управления центральная служба СПУ осуществляет контроль за своевременным представлением прямой и обратной информации по заранее разработанным формам отчетности, проводит анализ, корректирование и обновление сетевого графика. Совместно с ответственными исполнителями служба СПУ разрабатывает предложения по улучшению плана и ликвидации «узких мест». Одновременно она представляет планы в плановый и производственно-технический отделы, подготавливает и организует оперативные совещания при руководителе головной организации, составляет донесение для высшего руководства (один раз в декаду, месяц) о состоянии критических и подкритических работ. В функции СПУ входит накопление и анализ статистических данных для создания нормативно-справочной базы, а также разработка методических и инструктивных материалов с учетом специфики подразделений.

На службу СПУ при организациях-смежниках возлагаются функции по сбору информации от своих ответственных исполнителей для представления ее в ЦСПУ или непосредственно в информационно-вычислительный центр (ИВЦ). В ее же обязанности входит составление, анализ и постоянное обновление частных сетевых графиков с докладом непосредственному руководству.

На службу СПУ при вычислительном центре возлагается отладка программы, организация, приемка и хранение входной документации с ее последующим возвратом в ЦСПУ; обеспечение своевременной обработки информации и выдачи ее на места. В ее обязанности входит

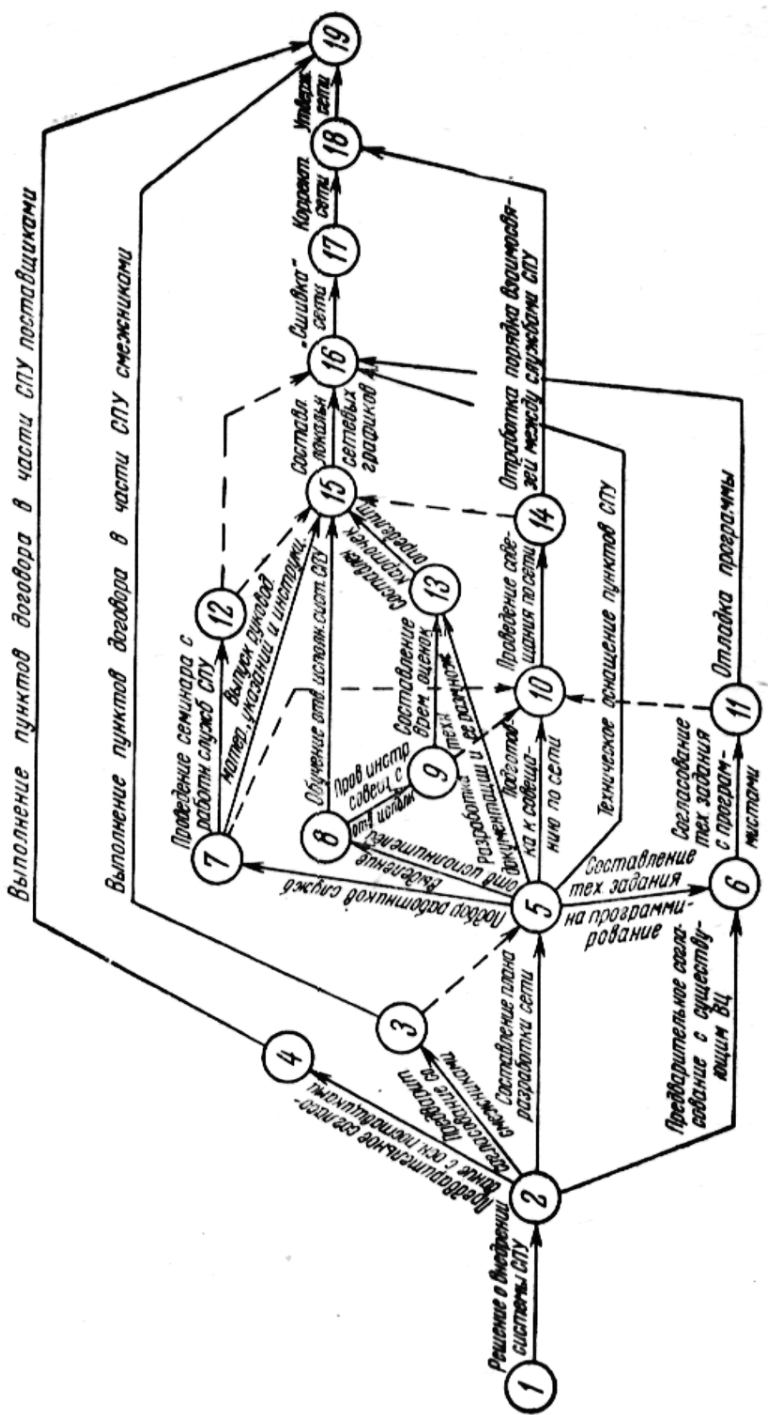


Рис. 60. Сетевой график на внедрение системы СПУ

также организация архива информации на технических носителях (перфокартах, перфолентах и т. п.).

При крупных разрабатывающих организациях в состав службы СПУ могут входить два-три квалифицированных специалиста: методист, инженер-экономист, математик-программист, в задачу которых должно входить изучение и обобщение зарубежного и отечественного опыта по использованию системы СПУ. Им также вменяется в обязанность разработка методических и инструктивных материалов и проведение консультаций по вопросам теории и методологии системы СПУ.

В табл. 28 приведен ориентировочный перечень комплекса операций, необходимых при внедрении системы СПУ, а на рис. 60 — пример сетевого графика, составленного на основе этого перечня без временных оценок, представляемых в зависимости от конкретных условий и масштаба разработки.

Таблица 28

Перечень работ к сетевому графику на внедрение системы СПУ

Шифр работы	Наименование работы
1— 2	Решение о внедрении системы СПУ
2— 3	Предварительное согласование со смежниками
2— 4	Предварительное согласование с основными поставщиками
2— 5	Составление плана разработки сети
2— 6	Предварительное согласование с существующим ВЦ
3—19	Выполнение пунктов договора СПУ смежниками
4—19	Выполнение пунктов договора СПУ поставщиками
5— 6	Составление технического задания на программирование
5— 7	Подбор работников служб СПУ
5— 8	Выделение ответственных исполнителей
5—10	Подготовка к совещанию по сети
5—13	Разработка технической документации и ее размножение
5—16	Техническое оснащение пунктов СПУ
6—11	Согласование технического задания с программистами
7—12	Проведение семинара с работниками служб СПУ
7—15	Выпуск ЦСПУ руководящих материалов, указаний и инструкций
8— 9	Проведение инструктивных совещаний с ответственными исполнителями
8—15	Обучение ответственных исполнителей системе СПУ

Шифр работы	Наименование работы
9—13	Составление временных оценок
10—14	Проведение совещаний по сети
11—16	Отладка программы
13—15	Составление карточек-определителей
14—18	Отработка порядка взаимосвязей между службами СПУ
15—16	Составление первичных и локальных сетевых графиков
16—17	«Сшивка» сети
17—18	Корректирование сети
18—19	Утверждение сети

ЛИТЕРАТУРА

1. Временные указания по составлению сетевых графиков и применению их в управлении строительством М., 1964
2. Инструкция по применению сетевых графиков и электронных вычислительных машин в управлении строительством. Киев, 1964.
3. Основные положения по разработке и применению систем сетевого планирования и управления. М., «Экономика», 1965.
4. Управление большими системами. Вып. 1. Институт автоматизации и телемеханики М., 1964.
5. Авдеев Ю. А., Николаева А. П. Анализ сетевых графиков без применения ЭВМ. Доклад на семинаре. М., ГИПРОТИС, 1964.
6. Доклад «Алгоритм и программа расчета сетевого графика на ЭВМ БЭСМ-24». М., ГИПРОТИС, 1964.
7. Сборник переведенных статей о системе «PERT». М., Госхимпроект, 1964.
8. Абрамов С. А., Мариничев М. И., Поляков П. Д. Сетевые методы планирования и управления. М., «Советское радио», 1965.
9. Инструкция по применению сетевых графиков при планировании и управлении холодными и капитальными ремонтами мартеновских печей. Днепропетровск, 1965.
10. Опыт применения сетевого планирования. Доклад на семинаре. М., ГИПРОТИС, 1964.
11. Система сетевого планирования. Совнархоз Ленинградского экономического района. Составитель Сыроежин И. М. Л., ЦБТИ, 1964.
12. Система сетевого планирования и управления. Перевод с англ. М., изд-во «Мир», 1965.
13. Лейбкин Ю. Р., Суворов Б. П. Критический отбор проектно-плановых решений (метод сетевого планирования). Изд. 2-е. М., «Экономика», 1965.

14. Сетевые методы планирования, контроля и применения их для управления производством и строительством. Сборник статей. Под ред. Н. И. Цедута и С. А. Думлера. Киев, 1964.
15. Вычислительная и организационная техника в строительстве и проектировании. В кн. 1, 2, 3, 4, 5. М., ГИПРОТИС, 1965.
16. Вычислительная и организационная техника в строительстве и проектировании. Сборники 1, 2, 3. М., ГИПРОТИС, 1964.
17. Голенко Д. И. Теоретико-вероятностные вопросы сетевого планирования во времени. — «Вычислительные системы». Сборник трудов института математики СО АН СССР. Вып. II М., 1964.
18. Никаноров С. П. Планирование процессов создания новых технических объектов и управления ими с помощью системы «PERT» (по данным зарубежной информации). — «Заводская лаборатория», 1964, т. 30, № 3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I Основные положения по применению систем организационного управления и системы СПУ	3
§ 1. Сущность и разновидности систем организационного управления	3
§ 2. Система СПУ и ее особенности	10
§ 3. Основные понятия и элементы сетевой модели комплекса операций	13
§ 4. Правила построения сети	22
Глава II. Методика расчета параметров сетевого графика	36
§ 1. Аналитический способ расчета	36
§ 2. Методика расчета сетевого графика в табличной форме	52
§ 3. Методика расчета на графике	58
§ 4. Расчет сетевых графиков на ЭВМ	65
Глава III. Исходные данные и подготовка к составлению сетевых графиков	68
§ 1. Структурное «дерево» разработки	68
§ 2. Кодирование событий и работ	70
§ 3. Формирование временных оценок	72
§ 4. Карточки-определители	78
Глава IV. Корректирование и оптимизация сетевых графиков	81
§ 1. Общие положения	81
§ 2. Корректирование сети по критерию «время»	83
§ 3. Корректирование сети с учетом ограничений по количеству рабочих	88
§ 4. Построение и оптимизация сетевых графиков при точной организации работ	91

§ 5. Корректирование сети с учетом ограничений по материальным ресурсам	99
§ 6. Корректирование сети с учетом ограничений по денежным ресурсам	105
§ 7. Оптимизация сети по критерию «время — себестоимость»	107
Глава V. Оперативное управление и организационные мероприятия по вводу в действие сетевых графиков . . .	126
§ 1. Оперативное управление и контроль за ходом выполнения разработки	126
§ 2. Организационные мероприятия по разработке и вводу в действие сетевых графиков	134
Литература	140

Параубек Галина Эдуардовна.

СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ (Методы построения, расчетов и оптимизации сетевых графиков). М., «Экономика», 1967. 143 с. (Моск. инженерно-экон. ин-т им. С. Орджоникидзе. Курсы по обучению руководящих работников методам сетевого планирования и управления)

338

Редактор Л. В. Бобылева

Худож. редактор В. П. Рафальский

Техн. редактор Г. С. Симкина и Л. С. Сазонова

Корректоры Н. Ф. Борисова и А. И. Вовк

А 00441. Сдано в набор 18/VI-1966 г. Подписано к печати 27/XII-1966 г. Формат 84×108¹/₃₂. Уч.-изд. л. 6,92. Печ. л. 7,56+0,157 вкл. Изд. № 980. Тираж 40 000 экз. Цена 35 коп. Заказ 606. Бумага типографская № 3 Б. З. — 19—1966 г № 17

Ярославский полиграфкомбинат Главполиграфпрома Комитета во печати при Совете Министров СССР, Ярославль, ул. Свободы, 97.