

УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ РАЗРАБОТКАМИ ПО МЕТОДУ
КРИТИЧЕСКОГО ПУТИ
(введение в систему "PERT-TIME")

Ю.А. Авдеев, А.П. Николаева

I. Общие положения

Одной из главных особенностей современного научно-технического прогресса является разработка и реализация крупных, так называемых "сложных систем" (СС). Примерами таких систем могут служить вычислительные системы, системы военного назначения, навигационные системы и т.д., а также уникальные объекты строительства и крупного машиностроения. К СС можно отнести также крупные опытно-конструкторские и научно-исследовательские разработки.

Эти системы отличаются от прежних простых технических систем не только количественно - обилием частей и органов, но и качественно - иным, более высоким уровнем организации, иными, более сложными функциональными взаимосвязями этих частей и элементов.

Характерной чертой СС является неразрывное единство ее частей и элементов, обусловленное наличием у всей системы общей цели, общего назначения. Так как СС представляет собой не простые наборы технических средств, но скорее напоминает сложные гармоничные организмы, в которых изменение одной части

влечет за собой изменение многих других, то это обстоятельство исключает разработку отдельных частей систем независимо друг от друга.

При разработке СС необходимо учитывать, что каждая новая система, как правило, отличается от предыдущих аналогичных систем новыми научно-техническими идеями, конструктивными элементами, материалами и т.д. Новизна СС обуславливает неопределенность задач, структуры и параметров системы в начальный период разработки, что неизбежно влечет за собой большое количество непредвиденных изменений, осложняющих разработку и реализацию системы.

Все эти особенности СС, в сочетании с необходимостью координировать деятельность большого количества специализированных организаций, участвующих в разработке систем, и обеспечить реализацию систем в весьма жесткие сроки, чрезвычайно усложнили проблему управления процессом их создания. Традиционные методы управления оказались малоэффективными, так как они не позволяли охватить в единое целое все многообразие работ по созданию систем, отразить взаимную связь этих работ и их влияние на достижение конечной цели и не обеспечивали непрерывность управления. Так возникло противоречие между возможностями современного научно-технического прогресса и степенью использования этих возможностей. Стремление преодолеть это противоречие обусловило создание машинной системы планирования и управления ходом разработки и реализации СС. Впервые такая система была создана и применена в США в 1958 г., где она известна как система "PERT" (сокращение от Program Evaluation and Review Technique - техника обзора и оценки программы). В нашей стране она известна как система управления по методу критического пути.*)

Метод критического пути рассматривает планирование как процесс логического прогнозирования хода работ, реализуемый совместно с процессом целесообразного распределения ресурсов по отдельным участкам разработки. Здесь критерием оптимальности является допустимая вероятность достижения конечной цели разработки в заданный срок.

*) Не следует смешивать с методом критического пути (СРМ) (Critical path method) - американской системой управления, отличающейся от системы "PERT" учетом фактора стоимости и использованием детерминированных оценок продолжительности работ.

Принятая в методе критического пути форма представления плана - сетевой график - объединяет в легко воспринимаемом виде основные элементы плана, а именно:

промежуточные результаты работ,
связи между ними,
продолжительность работ.

Эта форма более адекватна особенностям восприятия человека, нежели традиционные таблицы и графики.

Метод критического пути, в отличие от традиционных графиков Ганта, использует при моделировании процесса разработки два логических элемента: стрелку, обозначающую работу и зависимость, и кружок, обозначающий результат работы. Зависимость, на которую указывает стрелка, связывающая два кружка, означает, что результат, находящийся у конца стрелки, не может быть получен без предварительного получения результата, находящегося у начала стрелки (рис. I).

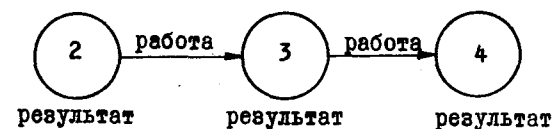


Рис. I

Кружок в модели процесса разработки обозначает такой результат, который необходим для начала следующей работы. Для выражения такого результата в методе критического пути используется понятие, называемое "событием". События являются основными элементами модели процесса разработки. События обладают свойством как бы "сшивать" работы. Для того, чтобы гарантировать "сшивание" работ, каждому событию дается четкое определение в терминах результатов. Каждому событию присваивается номер (код). Любая работа определяется парой событий, т.е. кодами предшествующего (i) и последующего (j) событий.

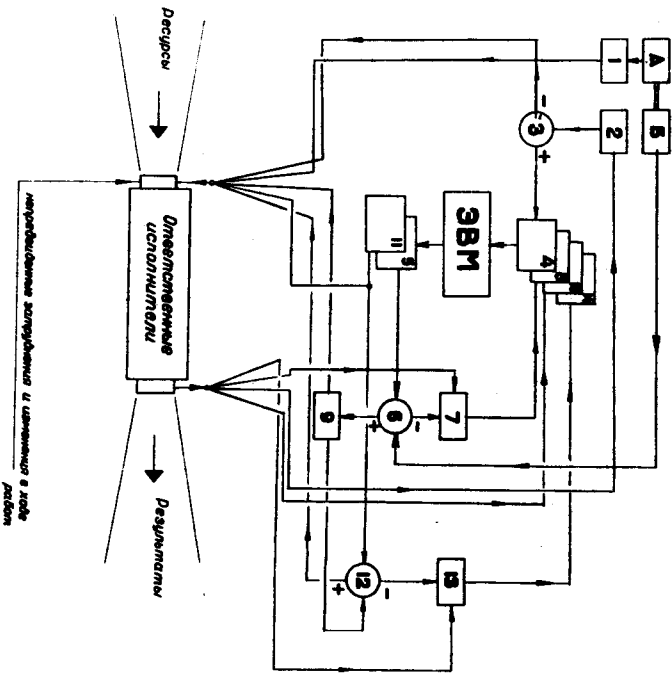
Каждая работа в сетевом графике оценивается временем ее предполагаемой продолжительности. Очевидно, что это время - величина достаточно неопределенная, и для учета этого обстоятельства вводятся вероятностные оценки времени, т.е. каждая работа получает не одну, а три оценки времени, показывающие возможный диапазон вариации продолжительности. Вероятностные оценки времени преобразуются так, чтобы продолжительность каж-

дой работы определялась ожидаемым временем ее выполнения и дисперсией (показателем разброса временных оценок).

Выражение процесса разработки в терминах событий предельно формализует оперативный план, что позволяет применить ЭВМ для обработки информации о ходе работ. В свою очередь, использование ЭВМ позволяет получать высокодетальную первичную информацию и оперативно ее обрабатывать. Информация обрабатывается по принципу "руководство путем исключения"; масса входной информации упорядочивается по степени важности ее для руководства. Внимание и усилия руководителей автоматически концентрируются на участках потенциальных затруднений в ходе работ, что создает возможность их своевременного предупреждения.

Автоматическое выделение участков потенциальных затруднений в ходе работ выполняется посредством анализа сетевого графика. Анализ основан на сравнении продолжительности всех путей в сети. При этом понятие "путь" распространяется на любую последовательность работ, которая одним своим концом опирается на начальное, а другим - на конечное событие сетевого графика. В результате сравнения выделяется критический путь, т.е. путь, суммарная продолжительность работ на котором имеет максимальную величину. Особенностью критического пути является то, что его величина равна общей продолжительности разработки.

Любое изменение продолжительности работ, лежащих на критическом пути, соответственно изменяет дату свершения конечного события. Все прочие пути сетевого графика называются ненапряженными. Общая схема управления разработками по методу критического пути приведена на рис. 2.



1. Выборка на разработку
2. Срок исполнения разработки
3. Определение разработкой и назначенные ответственные исполнители
4. Критический путь разработки (КПР)
5. Проверка сроков выполнения КПР
 - проверка нет
 - проверка нет
6. Проверка КПР в форме стандартного отчета
7. Анализ сроков плана
8. Проверка на соответствие оптимальности
 - критерий не выполняется
 - критерий выполняется
9. Формирование сетевого плана
10. Проверка по оптимальности в форме стандартного отчета
11. Проверка событий сетевого плана к началу рабочего дня
12. Сравнение фактического в форме стандартного отчета
13. Проверка выполнения плана
14. Проверка хода выполнения плана
 - оптимальный нет
 - оптимальный есть
15. Проверка хода выполнения по результатам хода работ
16. То же в форме стандартного отчета

рис. 2. Схема управления разработками по методу критического пути.

II. Разработка исходного плана

Как указывалось, СС представляет собой единый организм, все части которого подчинены единому целому. Следовательно, СС имеет иерархическую структуру, выражающую подчинение частей более низкого уровня частям более высокого уровня. Графически это можно представить в виде так называемого "дерева системы" (рис. 3).

Число уровней СС характеризует ее сложность; как правило, число уровней системы совпадает с числом уровней руководства. Системы 40-х годов имели не более 4-5 уровней, в совре-

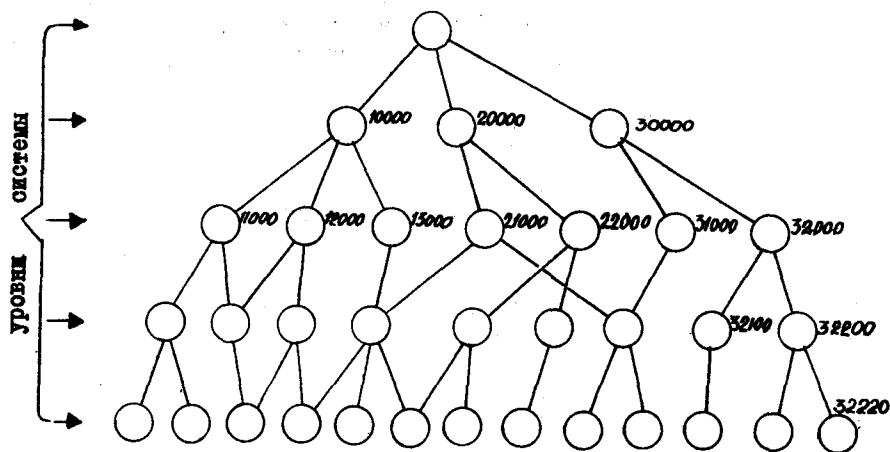


Рис.3. "Иерархическое дерево системы".

менных системах число уровней достигает 12-15 и продолжает возрастать.

Первой операцией исходного планирования является составление спецификации системы, которая соответствует "дереву системы".

Процедуру исходного планирования рассмотрим на примере разработки опытного образца ЭВМ. Спецификация частей системы составляется в ходе последовательного расчленения полного объема работ по СС на составляющие элементы. Выделяются образующие СС подсистемы, в которых выделяются устройства, последние, в свою очередь, расчленяются на блоки, узлы и т.д., расчленение ведется до тех пор, пока не будут выделены организационно однородные работы, выполнение которых можно поручить ответственным исполнителям.

Выбору и назначению ответственных исполнителей в методе критического пути придается большое значение. В их число должны включаться специалисты, которые либо сами выполняют работы по данным элементам системы, либо осуществляют непосредственное техническое руководство выполнением этих работ. Ответственные исполнители участвуют во всех процессах исходного планирования и управления ходом работ; они приводят в действие машинную информационную систему.

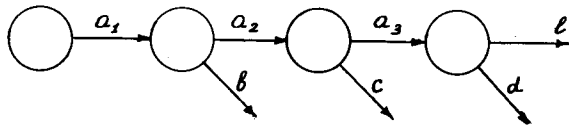
После составления спецификации частей системы разрабатывается укрупненный сетевой график, на котором показывается взаимосвязь конечного и важнейших промежуточных событий процесса разработки. Структура системы и укрупненный сетевой график направляются ответственным исполнителям. Каждому из них вменяется в обязанность:

- разработать карту хода разработки на закрепленный за ним элемент системы;
- дать четкое определение событиям карты;
- дать временные оценки продолжительности каждой работы.

На карте хода разработки ответственный исполнитель должен в символах работ и событий (т.е. с помощью стрелок и кружков) обозначить совокупность исходных, конечных и промежуточных результатов порученного ему дела и тем самым установить последовательность и взаимозависимость соответствующих работ. При составлении таких карт необходимо иметь в виду следующее:

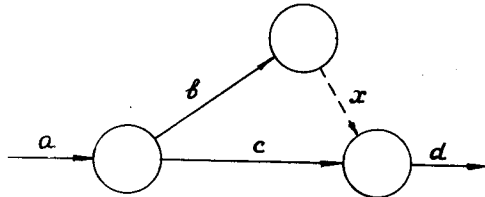
- Если ряд работ b, c, d, \dots может начаться не после пол-

ного, а после частичного выполнения предшествующей работы a , то работу a можно представить как сумму ее частей a_1, a_2, \dots , разделенных событиями (рис. 4).



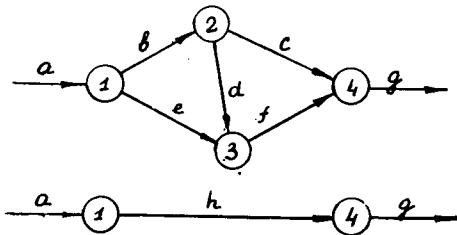
Р и с. 4

б) Если одно событие служит началом двух или нескольких работ, заканчивающихся в другом событии, то для их различия вводятся фиктивные работы (зависимости) с нулевой продолжительностью (на рис. 5 они обозначены через x).



Р и с. 5

в) Группу работ можно представить в виде одной работы, если в этой группе имеется по одному начальному и конечному событию (рис. 6). Это правило лежит в основе наиболее типичного приема детализации работ укрупненного сетевого графика.



Р и с. 6

г) Если две работы a и b имеют общее последующее событие, дающее начало работе c , а начало работы d зависит только от окончания работы b , то соответствующая логичес-

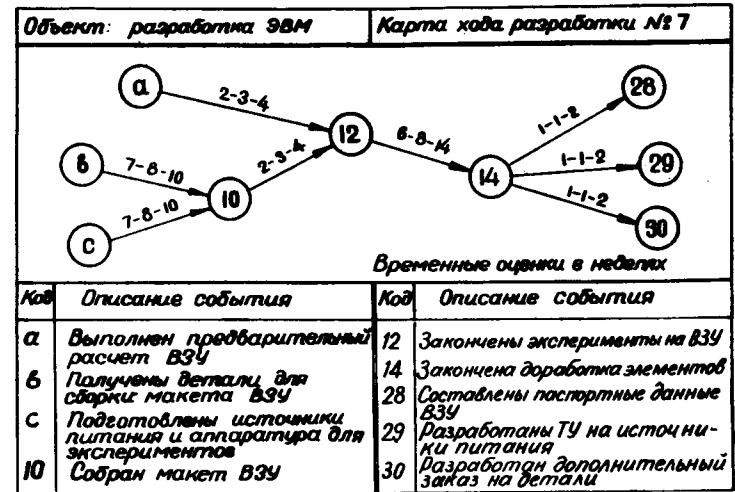
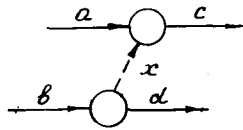


рис. 8. КАРТА ХОДА РАЗРАБОТКИ

От кого	Кому		Карта хода разработки №7			Отчетный период		Замечания
	Работы	Временные оценки	Дата завершения		по календарю			
i	j	a	т	б				
(1)	А	Б	В	Г	Д	Е		(2)
	10	12	2	3	4			
	12	14	6	8	4			
	14	28	1	1	2			
	14	29	1	1	2			
	14	30	1	1	2			
	2	10	7	8	10			
	7	10	7	8	10			
	6	12	2	3	4			

рис. 9. ПЕРЕВОД КАРТЫ ХОДА РАЗРАБОТКИ В ФОРМУ СТАНДАРТНОГО ОТЧЕТА.

кая зависимость фиксируется с помощью фиктивной работы x . (рис. 7).



Р и с. 7

Каждому событию карты хода разработки должно быть дано четкое и полное определение, т.е. в нем должны быть перечислены не только сами технические результаты, но все обстоятельства, характеризующие события. Определение должно быть точным, полностью исключаящим какую бы то ни было двусмысленность в его толковании. Определение должно быть выражено только в терминах результатов: применять термины, выражающие работу или процесс нельзя. В целом определение должно точно отражать, свершилось данное событие или нет и обеспечено ли при этом "сшиванье" работ. Определения заносятся в карточки-определители событий (рис. 8).

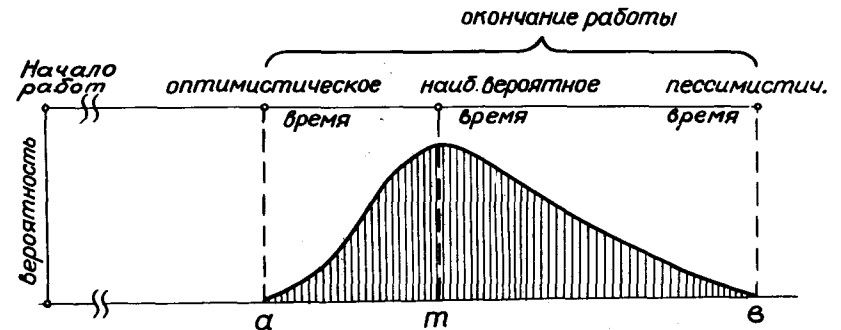
Затем ответственный исполнитель должен определить продолжительность (не сроки!) выполнения каждой работы в установленных единицах измерения (как правило, в неделях).

Благодаря вероятностным оценкам можно получить более полную информацию о трудностях, встречающихся в процессе выполнения работ, и о возможных их изменениях.

Для каждой работы задаются три временные оценки:

- 1) оптимистическое время a , т.е. минимальная продолжительность выполнения данной работы при наиболее благоприятном стечении обстоятельств;
- 2) наиболее вероятное время m , в течение которого работа может быть выполнена, в соответствии с предположениями ответственного исполнителя;
- 3) пессимистическое время b , т.е. максимальная продолжительность работы при самом неблагоприятном стечении обстоятельств.

При определении временных оценок ответственный исполнитель руководствуется действующими нормативами, данными о наличии ресурсов, а также собственным опытом. Оптимистическое и пессимистическое время следует определять таким образом, чтобы вероятность выполнения работы за время менее оптимистического или более пессимистического не превышала 1% (рис. 10).



Р и с. 10.

На карте хода разработки (см. рис. 8) временные оценки работ проставляются над стрелками.

После определения временных оценок, события карты хода разработки, кроме входных, должны быть закодированы. Перечень кодов сообщается ответственному исполнителю заранее; система кодировки произвольная.

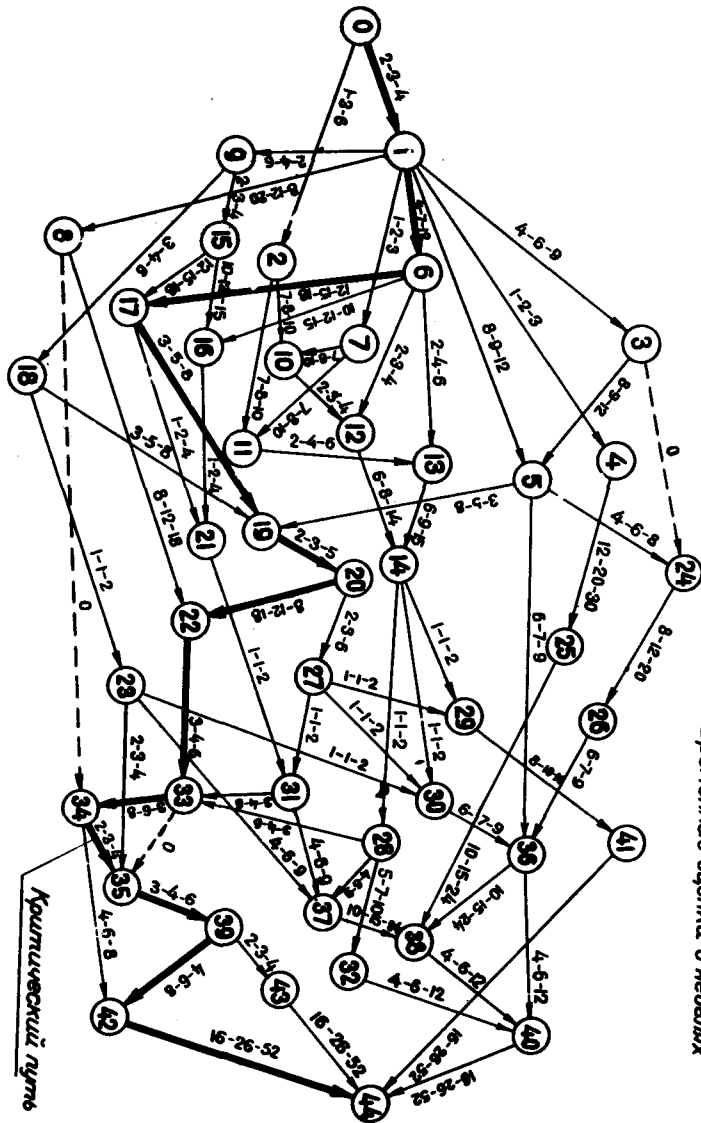
Для логической проверки карты хода разработки (рис. 8) направляются в группу обработки информации. На каждой карте проверяется перекрытие входных событий (кроме начальных) выходными событиями других карт; соответственно на каждой карте выходные события (кроме конечного) должны перекрыть входные события других карт. Уточняются определения событий. Неувязки устраняются путем обращения к соответствующим исполнителям.

После логической проверки карты хода разработки "сшиваются" в сетевой график (рис. 11), конечное событие которого фиксирует момент получения свершения целевого результата разработки. Сетевой график^{*)} охватывает все работы по созданию ЭВМ и отображает логические и количественные взаимосвязи между ними. В данном виде (рис. 11) сетевой график представляет первоначальный вариант исходного плана; согласно процедуре составления исходного плана, этот вариант должен быть подвергнут специальному анализу.

*) Карты хода разработки для сетевого графика составлены А.Ф. Зуевым.

Определитель событий схемы сетевого графика на рис. II.

Код события	Определение события
0	Получено техническое задание.
1	Подготовлены исходные материалы.
2	Получены детали для сборки макетов ВЗУ и МОЗУ.
3	Разработаны схемы КИП.
4	Выдано задание на конструирование стандартной ячейки.
5	Выполнен предварительный заказ на детали.
6	Подготовлены источники питания и аппаратура для экспериментов.
7	Выполнены предварительные расчёты МОЗУ и ВЗУ.
8	Разработаны логические схемы блоков ЭВМ.
9	Выбран способ реализации элементов АУ и УУ.
10	Собран макет ВЗУ.
11	Собран макет МОЗУ.
12	Закончены эксперименты на ВЗУ.
13	Закончены эксперименты на МОЗУ.
14	Закончена доработка элементов МОЗУ и ВЗУ.
15	Выбрана методика расчёта элементов АУ и УУ.
16	Выполнены расчёты и эксперим.исследования элементов УУ.
17	Выполнены расчёты и эксперим.исследования элементов АУ.
18	Выполнены расчёты и экспериментальные исследования ГОИ.
19	Изготовлены ячейки для макета АУ.
20	Закончены эксперименты на макете АУ.
21	Закончено испытание элементов УУ в термокамере.
22	Доработаны логические схемы блоков ЭВМ.
23	Составлены паспортные данные ГОИ.
24	Собраны макеты КИП.
25	Изготовлены корпуса стандартных ячеек.
26	Изготовлены и налажены КИП.
27	Завершена доработка элементов АУ.
28	Составлены паспортные данные ВЗУ и МОЗУ.
29	Разработаны ТУ на источники питания.
30	Разработан дополнительный заказ на детали.
31	Составлены паспортные данные АУ и УУ.
32	Составлено задание на проектирование рабочих макетов ВЗУ и МОЗУ.
33	Разработаны принципиальные схемы блоков ЭВМ.
34	Разработана документация на стойки и пульт ЭВМ.
35	Разработана топологическая схема ЭВМ.
36	Отбракованы детали на сборку.
37	В КБ оставлены монтажные схемы блоков ЭВМ.
38	Изготовлены и испытаны стандартные ячейки.
39	Разработаны монтажные схемы стоек и пульта ЭВМ.
40	Собраны и налажены ВЗУ и МОЗУ.
41	Изготовлена и отлажена система питания.
42	Закончен монтаж стоек и пульта ЭВМ.
43	Собраны и проверены кабели.
44	Закончена сборка и отладка опытного образца ЭВМ.



Р и с. II. Схема сетевого графика разработки ЭВМ.

Таблица I

Анализ сетевого графика

Работы		t_{ij} (неде- ли)	G_{ij}^2	$T_j^{(0)}$ (не- де- ли)	$T_j^{(2)}$ (не- де- ли)	R_j (не- де- ли)	$T_n^{(0)}$ (не- де- ли)	P_n (%)	Упорядоче- ние событий	
код пред- шест. события (i)	код послед- ствия (j)								код собы- тия (i)	код R (не- дели)
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1	3.0	0.11	3.0	3.0	0			0	0
	2	3.2		3.2	17.1	13.9			1	0
I	3	6.2		9.2	12.0	2.8			6	0
	4	2.0		5.0	26.9	21.9			17	0
	5	9.3							19	0
	6	7.3	1.78	10.3	10.3	0			20	0
	7	2.0		5.0	17.1	12.1			22	0
	8	12.7		15.7	33.7	18.0			33	0
	9	4.0		7.0	7.3	0.3			34	0
2	10	8.2							35	0
	11	8.2							39	0
3	5	9.3		18.5	21.3	2.8			42	0
	24	0							44	0
4	25	20.3		25.3	47.2	21.9				
5	19	5.2							9	0.3
	24	6.0		24.5	27.3	2.8			15	0.3
	36	7.2							27	1.8
6	12	3.0							30	1.8
	13	4.0							36	1.8
	16	12.2								
31	33	4.2								
	37	6.2								
32	40	6.7								
33	34	6.2	2.78	56.4	56.4	0				
	35	0								
34	35	3.0	0.11	59.4	59.4	0				
	42	6.0								
35	39	4.2	0.25	63.6	63.6	0				
36	38	15.7		61.1	62.9	1.8				
	40	6.7								
37	38	15.7								
38	40	6.7		67.8	69.6	1.8				
39	42	6.0	0.44	69.6	69.6	0				
	43	3.0		66.6	69.6	3.0				
40	44	28.7								
41	44	28.7								
42	44	28.7	36.00	98.3	98.3	0	95.0	31.4		
43	44	28.7								

Анализ сетевого графика ставит своей целью выделение участков потенциальных затруднений в ходе работ, определение оценки вероятности свершения конечного события в заданный срок, а также выявление избыточных ресурсов в отдельных участках сети с тем, чтобы использовать их для предотвращения срыва заданных сроков.

Как указывалось, в ходе анализа сетевого графика выделяется критический путь, суммарная продолжительность работ на котором равна общей продолжительности процесса создания объекта. Как известно, из всех возможных путей сетевого графика критический путь имеет максимальную величину. Для каждого события на ненапряженных путях существует определенный момент свершения. Если событие принадлежит ненапряженному пути, то смещение его относительно установленного срока не сказывается на сроке свершения конечного события до тех пор, пока продолжительность этого пути не сравняется с продолжительностью критического. Полное время допустимого смещения называется резервом времени для свершения данного события. Очевидно, что резервы времени для свершения событий критического пути равны нулю. Поэтому для выявления критического пути необходимо подсчитать резервы времени для всех событий сетевого графика и отметить события с нулевыми резервами. Последовательность работ, определяемая этими событиями, пройдет по критическому пути.

Выделение критического пути концентрирует внимание руководства на тех работах, которые могут задержать достижение конечной цели. Целесообразно выделять наименее напряженные пути, такие, события в которых имеют максимальные резервы времени, а составляющие их работы обеспечены избыточным количеством ресурсов. В случае необходимости избыточные ресурсы могут быть перераспределены на работы критического пути, что позволит сократить общее время выполнения разработки, не прибегая к дополнительным затратам.

Анализ небольших сетевых графиков (при числе событий ≤ 400) может быть выполнен вручную. Для анализа сетевых графиков больших размеров должны применяться электронно-вычислительные машины (ЭВМ). В этом случае данные карт хода разработки должны быть переведены в форму стандартного отчета, обеспечивающую быструю подготовку входных данных на ЭВМ (рис. 9).

Выходные данные анализа сетевого графика сводятся в специальную таблицу (табл. I). 1 и 2 колонки этой таблицы содержат упорядоченный (от начального к конечному событию) пере-

чень работ. Эти работы группируются по признаку общности предшествующего события. Далее, по каждой работе ($i-j$) выполняется преобразование трех временных оценок, чтобы продолжительность каждой работы определялась распределением вероятности, характеризуемым ожидаемым временем ее выполнения t_{ij} и дисперсией σ_{ij}^2 , т.е. мерой рассеяния времени.

Эти преобразования выполняются по формулам:

$$t_{ij} = \frac{a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij}}{6}, \quad (1)$$

$$\sigma_{ij}^2 = \left(\frac{b_{ij} - a_{ij}}{6} \right)^2. \quad (2)$$

Найденные значения t_{ij} и σ_{ij}^2 размещаются соответственно в колонках 3 и 4. Колонка 5 содержит показатели наиболее раннего ожидаемого времени свершения событий $T_j^{(0)}$, размещенных в колонке 2. Это время j определяется как сумма ожидаемых времен для работ на критическом пути, ведущем от начального события к событию j :

$$T_j^{(0)} = \max \{ T_i^{(0)} + t_{ij} \}. \quad (3)$$

Для конечного события n показатель $T_n^{(0)}$ рассматривается как расчетный срок его свершения.

Колонка 6 содержит показатели наиболее позднего допустимого времени свершения событий $T_j^{(n)}$, расположенных в колонке 2. Это время j определяется как разность между расчетным сроком свершения конечного события $T_n^{(0)}$ и суммой ожидаемых времен для работ на критическом пути от конечного события n к событию j . Очевидно, что показатель $T_j^{(n)}$ - это такой момент времени, к которому событие j обязательно должно совершиться с тем, чтобы не был сорван расчетный срок свершения конечного события. В общем виде $T_j^{(n)}$ рассчитывается по формуле:

$$T_j^{(n)} = \min \{ T_k^{(n)} - t_{kj} \}, \quad (4)$$

где k - индекс предшествующего события при движении по сети от конечного к начальному событию.

Колонка 7 содержит показатели резервов времени (R_j) по каждому событию, размещенному в колонке 2. Резерв времени по событию j определяется как разность между наиболее поздним и наиболее ранним ожидаемым временем свершения этого события, т.е.

$$R_j = T_j^{(n)} - T_j^{(0)}. \quad (5)$$

Колонка 10 содержит упорядоченный перечень таких событий критического пути, которые имеют нулевые резервы времени их свершения. В этой колонке под событиями критического пути размещаются остальные события сети, упорядоченные по возрастанию величины резерва времени. Показатели резерва времени размещаются в колонке 11.

По формуле (5) определяются так называемые полные резервы времени для свершения событий. Как указывалось, в пределах резерва времени можно увеличить продолжительность предшествующих данному событию работ без изменения срока свершения конечного события. В случае необходимости могут быть определены так называемые частные резервы времени R_j' , в пределах которых можно увеличивать продолжительность любой данной работы без изменения срока свершения последующего события, определяющего данную работу. Очевидно, что частные резервы времени будут выявляться в случаях, когда две или несколько работ будут замыкаться на одном событии.

Частные резервы времени определяются по формуле:

$$R_j' = T_j^{(0)} - T_i^{(0)} - t_{ij}. \quad (6)$$

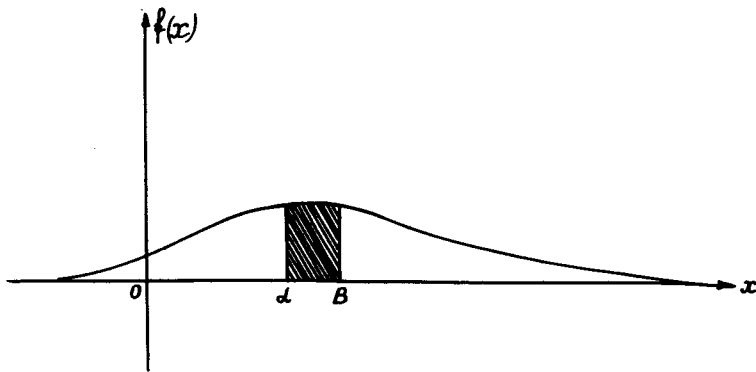
В колонке 8 проставляется заданный срок свершения конечного события $T_n^{(c)}$.

Колонка 9 содержит оценку вероятности P_n свершения конечного события в заданный срок. В общем виде эти оценки сводятся к определению вероятности попадания непрерывной случайной величины x в интервал (α, β) ; при этом искомая вероятность P равна:

$$P(\alpha < x < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx. \quad (7)$$

Геометрически это можно истолковать следующим образом: вероятность попадания непрерывной случайной величины x в интервал (α, β) равна площади криволинейной трапеции, ограниченной осью x , кривой распределения $f(x)$ и прямыми $x = \alpha$ и $x = \beta$ (рис. 12).

В основу оценки вероятности P_n положено известное следствие из центральной предельной теоремы теории вероятностей Ляпунова. Согласно этому следствию, случайная величина x , представляющая собой сумму очень большого количества взаимно независимых случайных величин x_1, x_2, \dots, x_n с практически любыми законами распределения и ничтожно малым влиянием каждой величины на всю сумму, имеет распределение вероятностей, близкое к нормальному.



Р и с. 12.

После подстановки выражения дифференциальной функции нормального распределения вероятностей в (7) вместо $f(x)$ получаем

$$P(a < x < b) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (8)$$

где a - математическое ожидание непрерывной случайной величины x ;

σ - среднее квадратическое отклонение.

Введя переменную $z = \frac{x-a}{\sigma}$ в формулу (8), преобразуем последнюю так, чтобы можно было пользоваться готовой таблицей [3], которая содержит значение функции Лапласа:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz; \quad \Phi(-x) = -\Phi(x).$$

В окончательном виде формула (8) примет вид:

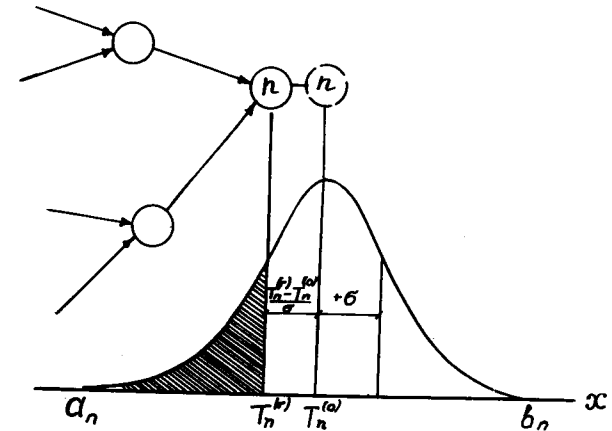
$$P(a < x < b) = \Phi\left(\frac{b-a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-a}{\sigma}\right). \quad (9)$$

В нашем случае (см. рис. 13) имеем:

$$a = T_n^{(0)},$$

$$\sigma = \sigma_n = \sqrt{\sum_{k=1}^n \sigma_{i_k j_k}^2},$$

$(i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_k), \dots, (i_n, j_n)$ - последовательность работ, лежащих на критическом пути; $j_{k-1} = i_k$.



Р и с. 13.

Геометрически вероятность свершения конечного события n в заданный срок $T_n^{(n)}$ выражается площадью (на рис. 13 заштрихована), которая ограничена осью x , кривой нормального распределения и прямой $x_1 = \frac{T_n^{(n)} - T_n^{(0)}}{\sigma_n}$. Вся площадь под нормальной кривой равна единице (100%).

Таким образом, вероятность P_n равна:

$$P_n = P(a_n < x < T_n^{(n)}) = P(a_n < x < T_n^{(0)}) - P(T_n^{(n)} < x < T_n^{(0)}) =$$

$$= 0,5 - \left[\Phi\left(\frac{T_n^{(n)} - T_n^{(0)}}{\sigma_n}\right) - \Phi\left(\frac{T_n^{(0)} - T_n^{(0)}}{\sigma_n}\right) \right]; \quad (10)$$

$$P_n = 0,5 + \Phi\left(\frac{T_n^{(n)} - T_n^{(0)}}{\sigma_n}\right).$$

Применительно к нашему примеру имеем:

$$P_n = 0,5 + \Phi\left(\frac{95 - 92,3}{\sqrt{46,44}}\right) = 0,5 + \Phi\left(-\frac{2,7}{6,8}\right) = 0,5 - \Phi(0,425) =$$

$$= 0,5 - 0,186 = 0,314 = 31,4\%.$$

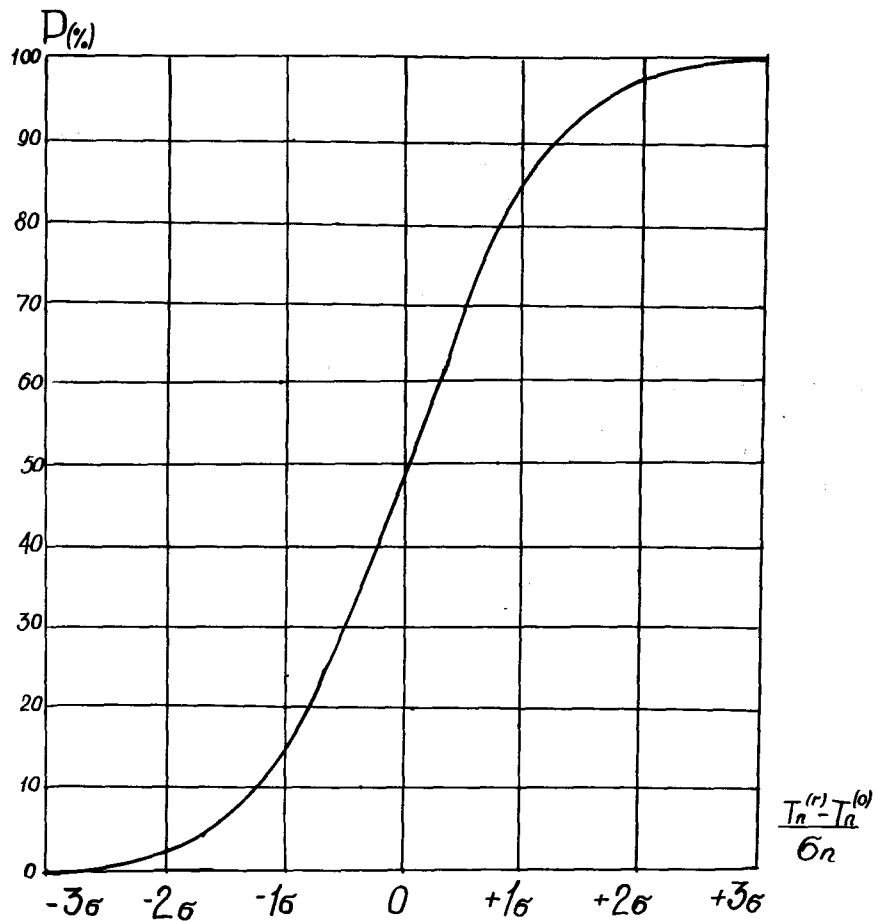


Рис.14. График функции $P = 0,5 + \Phi\left(\frac{T_n^{(r)} - T_n^{(s)}}{\sigma_n}\right)$

Для определения вероятности P_n удобно пользоваться графиком (рис. 14).

Результаты анализа сетевого графика служат исходными данными для оптимизации плана. Последняя имеет целью привести реальные возможности разработки в соответствие с заданным сроком свершения конечного события.

Процедура оптимизации плана начинается с оценки приемлемости расчетного срока свершения конечного события $T_n^{(e)}$ при сравнении его с заданным сроком $T_n^{(r)}$. Если $T_n^{(r)} < T_n^{(e)}$ и вероятность свершения конечного события в заданный срок слишком мала (например, $P_n \leq 0,3$)^{х)}, то прежде всего необходимо проанализировать достоверность временных оценок работ, лежащих на критическом пути, и затем подготовить систему мер по сокращению продолжительности этих работ. Руководство, совместно с ответственными исполнителями работ, последовательно просматривает работы, лежащие на критическом пути, и с учетом выработанной системы мер производит переоценку продолжительности этих работ. В качестве мер по сокращению продолжительности таких работ может быть предложено:

- а) устранение излишних работ;
- б) расчленение работ на составляющие процессы и параллельное их выполнение;
- в) представление ответственным исполнителям дополнительных ресурсов, которые, как правило, изыскиваются на ненапряженных путях.

Выполняется повторный анализ сетевого графика; его результатом может быть выявление нового критического пути. Если вероятность свершения конечного события в заданный срок будет вновь достаточно малой, процедура оптимизации плана повторяется до тех пор, пока не будет достигнут удовлетворительный результат. При невозможности его достижения потребуются изменить заданный срок свершения конечного события.

Следует отметить, что в процессе оптимизации плана руководство обращается к весьма ограниченному, и определенному

х) По данным зарубежного опыта вероятности $0,35 < P_n < 0,65$ считаются границами допустимого риска. При $P_n < 0,35$ опасность срыва $T_n^{(r)}$ настолько велика, что необходимо повторное планирование. При $P_n > 0,65$ целесообразно также предпринять повторное планирование, так как на работах критического пути имеются избыточные ресурсы.

числу ответственных исполнителей. При выявлении нового критического пути руководство имеет дело хотя и с новым, но вполне определенным и относительно небольшим коллективом работников. Точное знание руководством круга лиц, к которым оно должно обращаться, обуславливает определенность этой процедуры, а ограниченное число лиц, входящих в этот круг, делает процедуру весьма экономичной. Применение же ЭВМ для анализа сетевого графика позволяет выполнять в весьма сжатые сроки многократное перепланирование, обусловленное процедурой оптимизации.

Итоговым документом по оптимизации плана является сетевой график, в котором вероятность свершения конечного события в заданный срок соответствует желаемой величине и временные оценки каждой работы согласованы с ее ответственным исполнителем.

Заключительным этапом составления исходного плана является привязка наиболее раннего ожидаемого времени свершения всех событий сетевого графика к календарным срокам. Указанные календарные сроки и резервы времени в виде первичных показателей оперативных планов доводятся до ответственных исполнителей.

III. Управление ходом работ

Чтобы эффективно управлять разработками, необходимо использовать такую систему мер, которая обеспечивала бы устойчивость протекания процесса разработки в запланированном режиме. Конечное событие сетевого графика должно свершиться в заданный срок и в рамках выделенных ресурсов (или с минимальными отклонениями от этих показателей), несмотря на непредвиденные затруднения, возникающие в ходе работ.

Необходимый контроль за ходом работ осуществляется с помощью первичной информации (и только его!), которая выдается ответственными исполнителями.

Существенное отличие метода критического пути от традиционных приемов управления состоит в том, что первый основывается на предвидении тех срывов и отклонений, которые возможны при реализации работ. Такое предвидение возможно благодаря тому, что отчеты, подаваемые ответственными исполнителями, содержат сведения не только о состоянии протекающих работ, но и о предполагаемых изменениях во всех работах. В отчетной инфор-

мации постоянно обновляются показатели исходного плана. Такая информация поступает в установленные сроки в форме стандартного отчета о ходе работ и оценках временных промежутков (см. рис. 9).

Отчеты представляются по следующей схеме:

а) Д у х н е д е л ь н ы е содержат данные о состоянии работ, которые были завершены или намечены к завершению в отчетный период. Дополнительно может быть сделан отчет по любым другим работам, если ответственный исполнитель предполагает, что время их ранее запланированной продолжительности изменится.

б) М е с я ч н ы е содержат переоценки времени для всех работ, находящихся на критическом пути. Дополнительно, в порядке контроля, руководство может затребовать временные оценки по некоторым другим работам — например, по работам потенциально критических (подкритических) путей.

в) К в а р т а л ь н ы е содержат полное обновление временных оценок по всем работам сетевого графика. Разработка отчета ведется согласно процедуре составления исходного плана.

В колонки А, Б, В, Г, Д, Е, Ж (рис. 9) ответственными исполнителями записываются данные о всех предполагаемых изменениях и, прежде всего, об изменении содержания событий или о появлении новых событий. Эти данные используются для обновления определителя событий. Следует отметить, что в рамках традиционных методов управления ответственные исполнители лишены возможности выразить изменение своего представления о выполняемых работах.

Колонки I и 2 заполняются в группе обработки информации. Цифры кода, помещенные в колонку I, означают: I — добавление новой работы; 2 — переоценку существующей работы; 3 — завершение работы; 4 — изменение даты по графику; 5 — исключение (вычеркивание) работы.

Коды определяют характер обновления показателей исходного плана. Они могут быть использованы для создания истории разработки. Систематический анализ такой истории позволит определить степень способности ответственных исполнителей давать временные оценки по работам, находящимся в их компетенции. Это поможет руководству отделить те лица, которые удовлетворительно предвидели развитие своей работы, от тех, которые производили многократное перепланирование, не вызываемое необходимостью. Сам факт проверки отчетов и их сохранность заставляет

исполнителей с должным вниманием и ответственностью относиться к сообщаемым ими сведениям, а при соответствующей обработке последних можно получить ценные данные для организации будущих работ, в частности для формирования нормативов времени и материальных затрат.

В колонку 2 в форме машинного кода заносится дата свершения работы, записанная в колонку Б.

Поскольку каждый ответственный исполнитель имеет дело с весьма ограниченным и хорошо известным ему кругом работ, заполнение отчета занимает совсем незначительное время. Поэтому исключается необходимость в составлении какой-либо другой отчетной документации и в содержании для этих целей соответствующего учетного персонала.

Все отчеты одновременно поступают в группу обработки информации, где с помощью ЭВМ воспроизводится сетевой график и выполняется его анализ. Новый сетевой график создается в результате обновления ряда показателей исходного плана, но он представляет собой не план, а наиболее свежий коллективный прогноз хода работ. Равноценного документа в традиционных методах управления нет.

С помощью анализа сетевого графика-прогноза, как и анализа исходного плана, выделяется критическая последовательность работ, переоцениваются резервы времени по событиям ненапряженных путей и вероятность свершения конечного события в заданный срок. Невозможность полного предвидения хода предстоящих работ обуславливает более или менее существенное отличие параметров сетевого графика - прогноза от данных исходного плана. Тщательное составление исходного плана снижает общий уровень неопределенности и обуславливает достаточно малую величину этого отклонения, но полностью исключить неопределенность не может. Поэтому отклонения от исходного плана не должны рассматриваться как недопустимое явление.

Выявление нового критического пути и изменение вероятности свершения конечного события в заданный срок служат руководству основой для принятия соответствующих решений. Внимание руководителей концентрируется на тех работах, которые задерживают достижение конечной цели. Строгий порядок в представлении отчетов создает четкий ритм работы всего коллектива. Ответственные исполнители должны регулярно затрачивать часть своего времени на обдумывание плана работ для представления отчета. Руководители обязаны принимать решения, так как

им ясно указывается, где и какое вмешательство требуется. Если руководители не принимают решения, то в следующий раз они наглядно видят результаты этого. Очевидно, что описываемая процедура управления ходом работ отнюдь не помогает руководству найти то или иное техническое решение; это целиком остается в обязанностях руководства и его технического персонала. Описываемая процедура лишь экономит силы и время руководства, высвобождая их для тщательного и всестороннего обдумывания решений.

Руководители всех уровней и ответственные исполнители получают данные анализа сетевого графика-прогноза и поэтому каждый из них осведомлен о своем положении в общем ходе работ. Это обуславливает одинаковое понимание ими общего положения дел и своей роли. Каждый руководитель и ответственный исполнитель видят свои действия через целое.

При традиционных методах управления, когда ответственные исполнители практически не осведомлены относительно общего положения дел, единственным критерием оценки их положения является для них сравнение с планом. Однако изменение продолжительности работы в том случае, если она принадлежит ненапряженному пути, не имеет определяющего значения. Тем не менее ответственные исполнители при отставании своих работ обращаются к руководству с теми или иными предложениями. Эти контакты, поскольку ненапряженным путям принадлежит около 90% всех работ, в подавляющем большинстве случаев лишь отнимают драгоценное время у руководства и не позволяют ему сосредоточиваться на решении действительно актуальных задач.

При описываемой процедуре управления ходом работ ответственные исполнители работ, находящихся на ненапряженных путях, следят за тем, чтобы не слишком приблизиться к критическому пути и не производить лишних расходов. Напротив, ответственные исполнители, чьи работы попали на критический путь, немедленно принимают те меры, которые они в состоянии принять, или обращаются за помощью к руководству. В этих условиях число контактов между ответственными исполнителями и руководством резко сократится.

Использование ЭВМ в управлении ходом работ обуславливает "проигрывание" решений руководства до того, как они становятся директивными указаниями для исполнителей. Здесь имеется в виду, что решение руководства, сокращающее до необходимой величины критический путь, может оказаться неэффективным, так

как оно выявит критический путь, бывший по отношению к предыдущему подкритическим. Цель решения не будет достигнута. Во избежание этой ситуации, в целях гарантии эффективности решения предлагаемая система мер в форме двухнедельного отчета вводится в ЭВМ. Соответствующий сетевой график будет являть собой предполагаемый план. Данные анализа этого плана дадут руководству ясное представление о влиянии своего решения на конечный результат, что обусловит принятие, изменение или исключение этого решения. Если решение достигнет цели, то полученный сетевой график обретает силу директивного плана. Если нет, то руководству сообщаются дополнительные данные для принятия новой серии решений. Эта процедура, подобная процедуре оптимизации плана, продолжается до тех пор, пока не достигается желаемая цель.

Правом "проигрывать" решения, наряду с руководством, пользуются и ответственные исполнители. Эта возможность стимулирует действия всего коллектива работников в направлении быстрого поиска эффективных решений.

Преимущества управления разработками по методу критического пути таковы:

а) На любой момент времени руководитель разработки располагает исчерпывающей и достоверной информацией о ходе работ и о том, какие работы и исполнители в настоящий момент определяют успех дела.

б) Руководство строится по принципу исключения. Из поля зрения руководства (но не из системы контроля!) исключаются работы, которые в данный момент и в ближайшем будущем не будут существенно влиять на общий ход разработки. Внимание и усилия руководства концентрируются на решающих участках разработки — на работах, находящихся в данный момент на критическом пути, т.е. на деятельности весьма ограниченного круга ответственных исполнителей.

в) Практически реализуется принцип непрерывности планирования. Систематическая корректировка плана по возникающим отклонениям подчиняется задаче безусловного завершения разработки в заданные сроки. В отличие от традиционных методов управления, руководители получают возможность работать по принципу предупреждения неполадок, а не по принципу "тушения пожаров".

г) Усиление централизации руководства сопровождается развитием процедуры оптимизации решений с привлечением наиболее заинтересованных ответственных исполнителей. Руководитель разработки получает возможность принимать свои решения, опираясь на разум, знания и опыт специалистов, непосредственно участвующих в процессе создания сложных систем.

Л и т е р а т у р а

1. Евреинов Э.В., Косарев Ю.Г. О методике разработки вычислительных систем. Сб. "Вычислительные системы". Вып. 6, Новосибирск, Изд-во ИМ СО АН СССР, 1963.
2. Kelley I.E. Critical-path planning and scheduling mathematical basis.—Operation Research, 1961 vol.9, N 3, p.296-320.
3. Malcolm D.G. Application of a technique for research and development program evaluation.—Operation Research 1959, vol.7, Sept.—Oct., p.646-649.
4. Гмурман В.Е. Введение в теорию вероятностей и математическую статистику. Москва, 1963 г. Гос. изд-во "Высшая школа", стр. 230-231.