

РЕСУРСЫ В СЕТЕВОМ ПЛАНИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ РАБОТ

О. А. Ляхов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
630090, Новосибирск, Россия

УДК 519.854.2:658.512.6

Рассмотрены вопросы оценивания параметров работы сетевых моделей управления проектами. Описаны особенности построения сетевых моделей при различных условиях применения сетевого планирования. Оценено влияние агрегирования моделей на точность календарных планов.

Ключевые слова: управление проектами, сетевые модели, календарное планирование, нескладируемые ресурсы.

Problems of parameters operations of network models estimation are considered. The features of network models creating for different conditions of network planning application are presented. Effect of aggregating of models on exactitude of schedul is evaluated.

Key words: project management, network models, scheduling, renewable resources.

Введение. Сетевое планирование начиная с простых методик PERT-TIME и СРМ и заканчивая сложными системами, разработанными компаниями Primavera, Microsoft (<http://www.oracle.com/primavera/index.html>, <http://www.microsoftproject.ru/>) и др., существует в течение 50 лет. Впервые сетевое планирование было использовано при производстве вооружения в западных странах. Новая система успешно применялась в СССР в проектно-конструкторских, научно-исследовательских и строительных организациях, при технической подготовке производства, в единичном производстве. Широкое применение сетевого планирования в экономике привело к необходимости выработки единой терминологии [1]. Развитие сетевого планирования связано с усложнением постановок задач, введением условий, отражающих ограниченность ресурсов [2], особенности технологических процессов и взаимосвязи работ [3], вероятностные характеристики процессов [4], выбор направлений продолжения работ и т. д. В настоящее время сетевое планирование является частью следующих научных дисциплин: управление проектами (постановки задач и практическое применение), календарное планирование (математические аспекты сетевых методов). В сентябре 2012 г. вслед за европейскими странами в России были введены стандарты [5–7], определяющие основные понятия управления проектами, по степени детализации явно уступающие стандартам 1960–1970-х гг.

Выполнение проектов в сетевом планировании отображается в виде работ (операций) и их взаимосвязей. В основном варианте системы сетевого планирования и управления (СПУ) работы принято обозначать дугами, события — вершинами, а весь процесс выполнения проекта — ориентированным графом (сетевой моделью). Определение работ как процесса труда, потребляющего ресурсы, нуждается в уточнении. В работах, посвященных сетевому планированию, вопросы отображения ресурсно-временных условий, степени детализации работ, способов отображения параметров работ и получения исходных нормативов, как правило,

не обсуждаются, считается, что исходные характеристики объекта соответствуют используемым моделям.

Процесс построения сетевых моделей в каждой практической системе СПУ организован по-разному. Наиболее известными являются следующие способы: построение сетевой модели на базе структурных схем разработок (изделий) [4]; построение сценариев проектов (<http://www.oracle.com/primavera/index.html>, <http://www.microsoftproject.ru/>); построение моделей на базе сетевых фрагментов [8, 9]; построение моделей на базе типовых блоков [10–13]. Каждому способу соответствуют свои типы сетевых моделей и свой набор учитываемых условий и входных параметров.

В сетевом планировании сложных комплексов работ применяются две основные постановки: календарное планирование с учетом только времени и порядка выполнения работ (PERT-TIME, метод критического пути) или построение календарных планов с учетом ограниченности ресурсов. Появившееся в 1950-х гг. как метод контроля временных параметров сложных комплексов работ, сетевое планирование быстро приобрело известность в СССР. Однако попытки применения СПУ с распределением ресурсов неоднократно наталкивались на незаинтересованность лиц, принимающих решения в практической деятельности. Неявные допущения СПУ о неограниченности ресурсов хорошо согласовывались с условиями планирования в оборонных отраслях и многочисленных “почтовых ящиках”. В настоящее время интерес к решению ресурсных задач СПУ обусловлен необходимостью проведения сравнения затрат и результатов практической деятельности.

Состав входных данных зависит прежде всего от разновидности применяемых сетевых моделей: для наиболее простых моделей типа PERT-TIME достаточно оценить продолжительность работ, в более сложных постановках необходимо дополнительно нормировать расход ресурсов, определять зависимость времени выполнения работ от количества используемых ресурсов и т. д. В настоящей работе рассмотрены вопросы отображения ресурсных и временных условий в задачах сетевого планирования проектов.

1. Учет временных параметров в сетевом планировании в системе PERT-TIME. В системе PERT-TIME предполагается, что продолжительности отдельных работ подчиняются закону β -распределения. Задаются три оценки: минимальная, наиболее вероятная и максимальная. Средняя оценка рассчитывается путем суммирования минимальной, максимальной и наиболее вероятной учетверенной оценок (см., например, [14]). В 1960-е гг. было отмечено, что формулы для математического ожидания и дисперсии продолжительности отдельной работы не следуют из β -распределения и содержат систематическую ошибку [4]. Были предприняты попытки корректировать эти формулы, вводя дополнительные ограничения (например, требование, чтобы мода находилась в середине интервала продолжительности работы), или минимизировать погрешность, полагая, что сумма показателей степеней β -распределения равна четырем и т. д. При использовании советских аналогов PERT было предложено перейти от трехочечной методики определения параметров работ к двухочечной методике (см., например, [4. С. 92–102; 9]), что позволяло уменьшить ошибки оценивания исходных параметров работ. В связи с этим вместо термина PERT предлагалось использовать термин “сетевое планирование и управление”.

Тогда же было показано, что расчет основных параметров расписания работ по методике PERT содержит систематическую ошибку. В методике PERT предполагается, что все работы независимы, число работ на отрезках пути от начала до конца проекта достаточно большое, поэтому длина критического (самого длинного) пути является математическим ожиданием суммы продолжительностей операций и имеет нормальный закон распределения. Рас-

чет сводится к последовательному просмотру сетевой модели и определению ранних сроков свершения событий. Эти оценки предлагается использовать как средние сроки наступления событий в календарном планировании. Ошибочным в PERT является предположение о том, что наибольшая по средним оценкам длина пути является математическим ожиданием времени наступления завершающего события пути. При этом не учитывается возможность существования путей, длина которых больше критической. Фактически с использованием методики PERT-TIME рассчитывается продолжительность проектов при условии, что наибольшая длина пути, рассчитанная по средним оценкам, является наибольшей в сетевой модели. Ошибочным является также предположение о нормальном распределении продолжительности проектов: из независимости работ не следует независимость ранних сроков свершения событий, в том числе завершающего события, определяющего длительность проекта в целом. Несмотря на систематическую ошибку, уменьшающую значения ранних сроков наступления событий относительно их реальных значений, методика PERT получила широкое распространение в управлении сложными комплексами работ, включена в учебники по управлению проектами. Проверка методики PERT-TIME методом статистических испытаний на реально существующих сетевых моделях показала, что оценки выполнения проектов занижены на 25–30 % [4].

2. Учет ресурсов в СПУ. Моделирование развивалось в отрыве от исследований по нормированию. К нормированию сложилось потребительское отношение: если для модели необходим норматив, значит, он существует. Совершенствование нормирования происходило в рамках традиционных методов управления, рассчитанных на безмашинную обработку информации и не позволяющих строить сбалансированные календарные планы.

2.1. *Нормативная база СПУ.* Объектом нормирования в СПУ является работа сетевой модели. Вся первичная информация задается в виде дуг сетей (работ). Степень детализации работ определяет объем нормативной базы.

Поскольку сетевые методы изначально предназначены для оперативного управления, в методиках СПУ рекомендуется доводить детализацию работ до такого уровня, когда за работой можно закрепить исполнителя, ответственного за ее выполнение: в единичном производстве — мастер, в проектно-конструкторских организациях — заведующий структурным подразделением и т. д. В зависимости от целей построения сетевых моделей ответственными исполнителями могут быть не только линейные руководители нижнего звена, но и управленческий персонал более высокого уровня. Однако степень детализации работ, необходимая для обеспечения ответственности, недостаточна для календарного планирования.

Нормирование целесообразно рассматривать совместно со способами построения сетевых моделей. Все известные методы формирования сетевых моделей можно разделить на три группы.

1. Расчленение разработки на составные части по структурным схемам проектов (изделий) [4. С. 43–58]. Рекомендуется продолжать процесс членения до тех пор, пока не будет достигнут уровень ответственных исполнителей работ. Обычно оценивается продолжительность работ, иногда — объем в единицах времени. Нормировщиком является сам исполнитель. Способ можно применять при проведении разработок в отсутствие аналогов при децентрализованном управлении.

2. Типизация проектов и генерация конкретных сетевых моделей из ранее сформированных [9]. Методика применяется в автоматизированных системах управления подготовкой производства, позволяет быстро строить сетевые модели при наличии аналогов. Нормы времени могут быть рассчитаны по аналогам, которые хранятся в постоянном информационном

фонде. Детализация работ может быть доведена до необходимого уровня, однако выбор в качестве контролируемых только временных параметров работ не позволяет решить проблему сбалансированности календарных планов.

3. Построение моделей на основе документооборота. Способ применим в проектно-конструкторских организациях и подразделениях разрабатывающих предприятий, где регламентировано взаимодействие подразделений [10–13]. В проектных организациях результатом работы обычно является комплект конструкторско-технологической документации, который служит входной информацией для следующих работ. Деятельность организации описывается моделью передачи заданий, в записях которой содержится информация о принимающих и передающих подразделениях. Вопрос степени детализации работ решается в процессе формирования постоянного информационного фонда (отделы, лаборатории, группы). В проектно-конструкторских организациях все виды основной деятельности исчерпываются несколькими типовыми моделями.

Нормирование работ возможно при накоплении статистики по типовым моделям расчетно-аналитическими методами. В строительном проектировании при наличии единой классификации видов работ возможно применение отраслевых нормативных справочников.

2.2. *Ресурсы, продолжительность и интенсивность работ сетевых моделей.* Нормирование в СПУ сводится к расчету исходных параметров работ сетевых моделей: времени и необходимых ресурсов. Ресурсы в СПУ принято делить на складываемые и нескладываемые.

Складываемыми называются ресурсы, которые могут быть накоплены, если их не использовать (сырье, материалы, детали и т. д.).

Нескладываемыми называются ненакапливаемые ресурсы (типа мощности), неиспользование которых приводит к их потере (производственные площади, фонды времени исполнителей и оборудования).

Зависимость продолжительности работы от ресурсов имеет вид

$$t = f((R_1, r_1), \dots, (R_k, r_k)), \quad (1)$$

где t — продолжительность работы; R_i, r_i — количество i -го ресурса и интенсивность его потребления в единицу времени; $i = \overline{1, k}$.

Предположим, что R_i — постоянные величины. В общем случае r_i — векторы, удовлетворяющие соотношениям

$$\sum_{j=t_1}^{t_2} r_{ij} = R_i, \quad i = \overline{1, k}, \quad r_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, k}, \quad j = \overline{t_1, t_2}, \quad (2)$$

где t_1, t_2 — момент начала и окончания выполнения работы.

На r_{ij} могут быть наложены ограничения по фронту работы $\underline{P}_i \leq r_{ij} \leq \overline{P}_i$. Функция f иногда задается таблично в виде дискретных вариантов выполнения работы [15]. Расчет объемов ресурсов R_i в основном сводится к расчету одного параметра — трудоемкости.

Рассмотрим три варианта выполнения работы.

1. Постоянная интенсивность, т. е. t, r_{ij} — заданные константы. Этот вариант применяется в СПУ наиболее часто.

2. Интенсивность не изменяется в процессе выполнения работы, т. е. $r_{ij} = r_{ij+1}$, $j = \overline{t_1, t_2 - 1}$. Например, если имеется только один ограниченный ресурс, необходимый для работы, в количестве R , то

$$t = R/r. \quad (3)$$

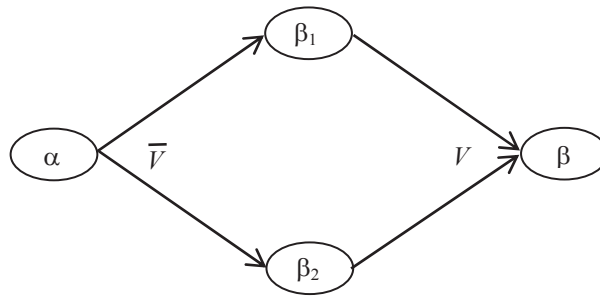


Рис. 1. Фрагмент сетевой модели

Здесь r — интенсивность (потребление ресурса в единицу времени). Формула (3) используется в практике СПУ. Если в качестве ограниченного ресурса выбираются исполнители, имеющие какую-либо специальность, то R — объем работы в единицах времени; r — число исполнителей.

3. Переменная интенсивность, когда r_{ij} принимает любые значения, удовлетворяющие соотношениям (2).

В календарных сетевых задачах с учетом ограничений на ресурсы при любых критериях выполнено следующее условие: область допустимых значений варианта 1 включена в область допустимых значений варианта 2, которая включена в область допустимых значений варианта 3. Таким образом, при любом критерии третий вариант позволяет получить более эффективные планы.

При использовании вариантов 1, 2 продолжительность однозначно соответствует интенсивности. При решении календарных задач с помощью варианта 3 помимо t необходимо хранить данные о распределении ресурсов работы во времени. Увеличение объема информации компенсируется расширением области допустимых значений.

2.3. *Условия потребления ресурсов работами.* В микроэкономической теории исследованы следующие условия выполнения работ, влияющие на продолжительность и потребление ресурсов операциями.

1. Взаимодополняемость ресурсов. В случае постоянной (не обязательно заранее заданной) интенсивности взаимодополняемость определяется условием

$$\frac{R_1}{r_1} = \dots = \frac{R_k}{r_k} = t. \tag{4}$$

Для переменной интенсивности в каждый момент времени должно выполняться условие

$$\frac{R_1}{r_{1j}} = \dots = \frac{R_k}{r_{kj}}, \quad j = \overline{t_1, t_2}. \tag{5}$$

Из (4), (5) следует, что при взаимодополняемости продолжительность работы может быть рассчитана по одному любому ресурсу.

2. Взаимозаменяемость ресурсов. В СПУ допускаются взаимозаменяемые группы ресурсов (в пределах одной группы). Случаи, когда работа может быть выполнена как одним, так и другим ресурсом различных групп, приводят к неоднозначности определения объемов работ и могут быть сведены к альтернативной сети. Пусть работа (α, β) может быть выполнена с помощью ресурса 1 или 2. Тогда (α, β) можно представить в виде фрагмента альтернативной сетевой модели (рис. 1). На рис. 1 (β_1, β) , (β_2, β) — фиктивные работы;

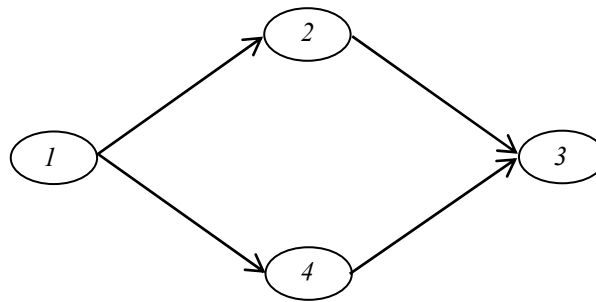


Рис. 2. Фрагмент сетевой модели, работы которой выполняются двумя нескладируемыми ресурсами А и Б:
1–4 — события, стрелки между ними — работы

α — альтернативное событие, на выходе которого реализуется условие “исключающее или” (\bar{V}), т. е. при достижении α будет выбрана только одна из двух выходящих работ; β — альтернативное событие, на входе которого реализуется условие “или” (V). Такое событие наступает, когда выполнена хотя бы одна входящая в него работа.

Продолжительность работ (α, β_1) , (α, β_2) может быть оценена по известным формулам для взаимодополняемых или независимых ресурсов.

Фрагмент сети на рис. 1 не является сетью GERT (см., например, [14, 16]) или стохастической сетевой моделью (см. [8, 9]), в которой моделируется вероятностный выбор направления развития разработки, поскольку для данного фрагмента альтернативы управляемы.

3. Независимость ресурсов. Продолжительность работы, независимо потребляющей ресурсы, может быть найдена разложением на составляющие. Пусть (α, β) — работа, выполняемая k ресурсами. Поставим ей в соответствие фрагмент, в котором $(\alpha, \beta_1), \dots, (\alpha, \beta_k)$ — работы, потребляющие один ресурс, $(\beta_1, \beta), \dots, (\beta_k, \beta)$ — фиктивные работы. Тогда продолжительность работы (α, β) может быть рассчитана по формуле

$$t = \max_{1 \leq i \leq k} (t_{(\alpha, \beta_i)}), \quad (6)$$

где $t_{(\alpha, \beta_i)}$ — время выполнения работы (α, β_i) ; $i = \overline{1, k}$. Интенсивность потребления каждого ресурса i определяется для каждой работы (α, β_i) исходя из условий (2).

4. Зависимость времени потребления одних видов ресурсов от времени потребления других видов ресурсов. Расчет временных параметров такой работы без разложения на составные элементы невозможен. Структура работы может быть раскрыта сетевым фрагментом ее реализации. Детализация работ фрагмента должна быть доведена до уровня, соответствующего условиям 1–3 потребления ресурсов.

5. Потребление ресурсов, которые нельзя однозначно отнести к работе (косвенные затраты). В традиционном планировании эти затраты рассчитываются на тему в целом без разбивки по работам. В сетевых моделях при достаточной степени детализации часть косвенных расходов можно вычислить для отдельных работ, что позволяет более точно учитывать затраты. В календарных задачах расчет расхода ресурсов во времени предполагает наличие первичной информации о потреблении ресурсов каждой работой на каждом временном интервале. Эти данные (без учета условия 5) известны, если сетевая модель содержит работы, удовлетворяющие условию 1. Работы условий 2–4 необходимо разложить на составляющие для получения оценок их интенсивности.

2.4. *Ошибки агрегирования (нескладируемые ресурсы и время).* На рис. 2 приведен фрагмент сетевой модели, работы которой выполняются двумя нескладируемыми ресурсами А

Расписание работ для фрагмента на рис. 2

Работы	Продолжи- тельность	Ресурс			Расписание	
		Обозначение	Количество	Интенсивность	Начало	Окончание
(1,2)	2	А	16	8	0	2
(1,3)	2	Б	8	4	0	2
(2,4)	2	Б	16	8	2	4
(3,4)	2	А	8	4	2	4

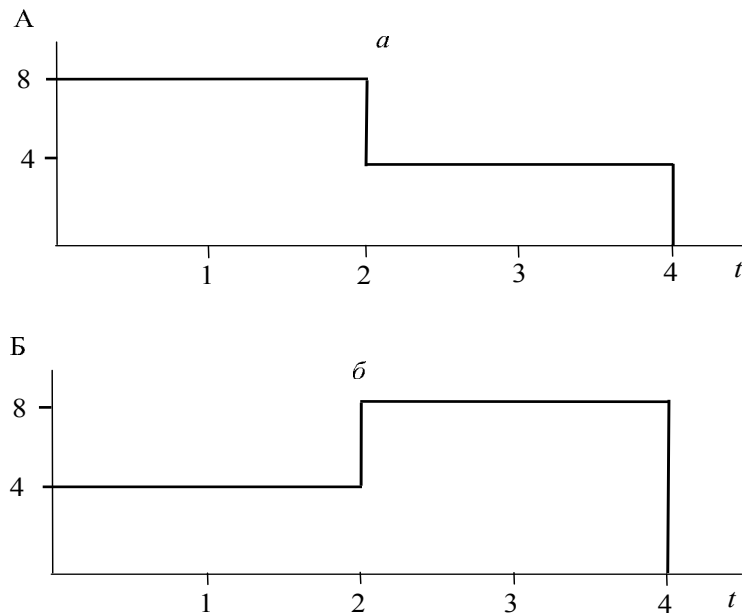


Рис. 3. Потребность в ресурсах для расписания, приведенного в таблице:
a — потребность во времени ресурса А; *б* — потребность во времени ресурса Б

и Б (например, два вида оборудования) с постоянной заранее заданной интенсивностью. Построенное для фрагмента расписание приведено в таблице.

Потребность в ресурсах показана на рис. 3.

Если в любой момент времени в наличии по 6 единиц каждого ресурса, то в интервале (0, 2) ресурс А в дефиците на 2 единицы, ресурс Б недоиспользуется на 2 единицы; в интервале (2, 4) обратная ситуация.

При агрегировании потребность в сводном ресурсе АБ составляет 12 единиц в единицу времени и совпадает с его наличием.

Несложно показать, что в любой момент времени агрегирование скрывает дефицит одних ресурсов и избыток других ресурсов для одного и того же расписания.

Если интервал времени учета ресурсов, рассматриваемый в предыдущем примере, увеличить в четыре раза, то результат будет тот же — полное совпадение потребности с наличием.

Существует две основные постановки календарных задач: 1) поиск минимума несбалансированности ресурсов во времени при заданных датах выполнения проектов; 2) минимизация отклонений расчетных сроков реализации комплексов работ от директивных при соблюдении ограничений по ресурсам. В обеих задачах в детерминированном случае календарный план однозначно определяет характеристики ресурсов.

В первой задаче обычно используется одна из следующих критериальных функций на минимум:

1. Суммарное превышение потребности в ресурсах над их наличием во времени.
2. Сумма квадратов превышения потребности в ресурсах над их наличием во времени.
3. Суммарное отклонение потребности в ресурсах от их наличия во времени (сглаживание).
4. Сумма квадратов отклонений потребности в ресурсах от их наличия во времени.

Применение линейных критериев 1–3 для агрегированной информации приводит к построению более сбалансированных календарных планов и уменьшению дефицитности одних видов ресурсов за счет необоснованного использования других (только для агрегированных ресурсов) в сравнении с детализованными данными. Систематическую ошибку содержит каждое слагаемое функций в пп. 1, 3.

Квадратичные целевые функции (см. пп. 2, 4), в отличие от линейных (см. пп. 1, 3), могут не только уменьшать, но и увеличивать несбалансированность планов при агрегировании ресурсов и времени.

Во второй задаче при агрегировании сглаживается потребность в ресурсах на каждом временном интервале: расписание, не допустимое по детализованным данным и оцененное по укрупненным данным, может оказаться выполнимым.

2.5. *Складированные ресурсы.* Непотребленный складированный ресурс переходит на следующий временной интервал. Ограниченность накапливаемых ресурсов может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_i(t) &= Q_i(t-1) - r_i(t) + P_i(t), \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad i = 1, k, \\ Q_i(0) &= R_i, \quad i = 1, k, \quad Q_i(t) \geq 0, \quad i = 1, k, \quad t = 1, T. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь $Q_i(t)$ — количество i -го ресурса на t -м интервале времени; $r_i(t)$ — суммарная интенсивность потребления i -го ресурса на t -м интервале времени всеми работами сетевой модели; $P_i(t)$ — поступление i -го ресурса на t -м интервале времени; R_i — количество i -го ресурса в начале планового периода; k — количество складированных ресурсов; T — количество интервалов времени в плановом периоде.

Потребность в накапливаемых ресурсах, предназначенных для выполнения комплекса работ в целом, при применении детерминированных сетевых моделей может быть однозначно определена без построения календарного плана. Объем ресурсов до выбора варианта реализации проекта в альтернативных сетевых моделях может быть оценен приближенно. Введение условий (7) в календарные задачи целесообразно, если они влияют на расписание работ. Для разработок с невысокой долей материальных затрат их можно не учитывать.

В ряде случаев предполагается предварительное материальное обеспечение. Например, на некоторых опытных заводах заказ не включается в производственный план до завершения подготовки производства, в том числе материального снабжения [15]. Поэтому в детерминированном случае при $R_i \geq \sum_t r_i(t)$, $i \in M$ (M — множество приобретаемых ресурсов) условия (7) выполняются для любого расписания работ, и в модели остаются только ограничения на складированные ресурсы собственного производства: стандартные и унифицированные детали, применяемые в разных заказах, план изготовления которых согласуется с индивидуальным производством через величины $P_i(t)$.

Агрегирование складированных ресурсов, так же как и нескладированных, искажает календарные планы.

3. Уровень детализации и практика планирования. По условиям потребления ресурсов работы сетевых моделей можно разделить на простые и сложные. Простыми на-

зываются работы, для выполнения которых требуются взаимодополняемые ресурсы (см. подп. 2.3). Остальные работы, нормирование которых связано с детализацией, называются сложными.

Сетевая модель, содержащая только простые работы, наиболее эффективна при календарном планировании. Определение исходных параметров сложных работ сопряжено с разложением на составляющие с фиксацией одного из вариантов распределения ресурсов внутри работы. Это сужает область допустимых значений задачи календарного планирования или приводит к ошибкам при оценке потребности в ресурсах.

Уровень детализации должен обеспечивать возможности планирования и диспетчеризации. Его нижняя граница зависит от степени централизации системы управления и горизонта планирования.

При централизованном управлении информация концентрируется в едином управляющем органе, составляющем календарные планы и контролирующем их выполнение. Детализация должна быть такой, чтобы сетевая модель не содержала сложных работ. Их наличие отражается не только на качестве планов, но и на возможностях централизованного контроля.

Децентрализация предполагает наличие нескольких уровней управления. От верхнего к нижнему уровню увеличивается степень детализации информации, каждой ступени управления соответствуют свои неделимые работы и единицы времени. Масштаб измерения уменьшается при переходе сверху вниз по иерархической структуре.

Допустимость планов верхнего уровня не гарантирует отсутствие узких мест в расписаниях более низких ступеней. Ресурсообеспеченность плана во времени проверяется составлением расписания следующего уровня. Гарантию реализуемости в детерминированном случае может дать календарный план простых работ, укрупнение которого приведет к планам более высоких уровней.

В практике планирования проектно-конструкторских организаций на верхнем уровне составляются, как правило, годовые тематические планы. В годовой план из предварительного перечня отбираются заказы (темы) по укрупненным оценкам потребности в ресурсах. Затем структура тематического плана "раскрывается" на более мелких временных интервалах (квартал, месяц, декада).

При дезагрегировании может выявиться несовместимость условий календарной задачи или чрезмерный резерв ресурсов. Это приводит к необходимости согласования тематического и календарных планов, что в проектных организациях реализуется внемодельно в рамках неформальных методов управления.

В ряде случаев алгоритмические трудности, возникающие при решении задач большой размерности, могут быть преодолены исходя из "асимптотического поведения решений задач теории расписаний" [17]. Неустойчивость календарных планов связана со сдвигом работы во времени, нарушающим ресурсные условия последующего расписания. Агрегированный план устойчивее соответствующего ему детализированного только потому, что на этом уровне не заметны ошибки учета ресурсов во времени: чем больше степень агрегирования, тем меньше вероятность того, что план, построенный по укрупненным данным, окажется выполненным.

Заключение. Широкое использование агрегированных сетевых моделей должно было бы выявить некорректность учета ресурсов. Этого не происходит по многим причинам, связанным с резервированием: завышение норм расхода ресурсов (особенно трудовых), приводящее к увеличению плановой длительности отдельных работ и проектов в целом; наличие

скрытых резервов оперативного регулирования, основанных на субъективном факторе (“выжимание пота”, системы стимулирования инженерного труда и т. д.); увеличение пропускной способности за счет сверхурочных работ.

Список литературы

1. ОСНОВНЫЕ положения по разработке и применению систем сетевого планирования и управления: Межотрасл. инструкт.-метод. материалы. Изд. 2-е. М.: Экономика, 1967.
2. ЗУХОВИЦКИЙ С. И. Математические методы сетевого планирования / С. И. Зуховицкий, И. А. Радчик. М.: Наука, 1965.
3. АХЬЮДЖА Х. Сетевые методы управления в проектировании и производстве. М.: Мир, 1979.
4. ГОЛЕНКО Д. И. Статистические методы сетевого планирования и управления. М.: Наука, 1968.
5. ГОСТ Р 54869-2011. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом. Введ. 12.09.12. М.: Стандартинформ, 2011.
6. ГОСТ 54870-2011. Проектный менеджмент. Требования к управлению портфелем проектов. Введ. 12.09.12. М.: Стандартинформ, 2011.
7. ГОСТ 54870-2011. Проектный менеджмент. Требования к управлению программой. Введ. 12.09.12. М.: Стандартинформ, 2011.
8. АНДРЕЕВ В. Н. Оптимизация управления предприятием (объединением) / В. Н. Андреев, Н. Б. Мироносецкий. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. С. 65–72.
9. МИРОНОСЕЦКИЙ Н. Б. Управление подготовкой производства / Н. Б. Мироносецкий, А. Р. Андерсон. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976.
10. ЛЯХОВ О. А. Формирование объемно-календарных планов опытного производства с применением ЭВМ. Новосибирск, 1987. (Препр. / АН СССР. Сиб. отд-ние. Вычисл. центр; № 725).
11. ЛЯХОВ О. А. О нормировании опытно-конструкторских работ в условиях функционирования АСУ // Применение ЭВМ в оптимальном планировании и управлении. Новосибирск: НГУ, 1976.
12. ЛЯХОВ О. А. Взаимосвязь нормирования и моделей управления технической подготовкой производства // Оптимальное планирование производственной деятельности на промышленных предприятиях и в объединениях. Новосибирск: НГУ, 1979. Вып. 2. С. 106–110.
13. ЛЯХОВ О. А. Моделирование в тематическом и календарном планировании проектных организаций // Формирование механизма управления предприятием в условиях становления рынка. Новосибирск: ИЭиОПП СО РАН, 1995. С. 127–136.
14. МИЛЛЕР Р. ПЕРТ — система управления. М.: Экономика, 1965.
15. ГЕВОРКЯН А. М. Методы и модели в управлении опытным производством. М.: Машиностроение, 1980.
16. PRITSKER A. A. B., WHITEHOUSE G. E. GERT: Graphical evaluation and review techniques. Pt 2. Probabilistic and industrial engineering applications // J. Indian Engng. 1966. V. 17, N 6. P. 293–301.
17. ПОРТУГАЛ В. М. Асимптотическое поведение решений задач теории расписаний по разным критериям // Кибернетика. 1976. № 5. С. 97–99.

Ляхов Олег Алексеевич — канд экон. наук, ст. науч. сотр. Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН; e-mail: loa@rav.sccc.ru

Дата поступления — 21.12.12