

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А. В. Усов

Доктор технических наук, профессор, Лауреат
Государственной премии Украины в области
науки и техники, заведующий кафедрой*

E-mail: usov-a-v@mbei.opu.ua

С. С. Максимов

Аспирант*

E-mail: usov-a-v@mbei.opu.ua

*Кафедра высшей математики
и моделирования систем
Одесский национальный
политехнический университет

пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

У статті розглянуті моделі календарного планування, за допомогою яких можна підвищити ефективність управління будівельними проектами. На основі розроблених моделей планування оптимального розміщення об'ємів робіт в часі можна суттєво скоротити тривалість реалізації будівельного проекту. Використання рівності величин максимальних потоків у мережі дозволяє звести вирішення початкової задачі до методу мережевого програмування

Ключові слова: управління проектами, календарне планування, оптимальне розміщення об'ємів робіт, тривалість будівельного проекту

В статье рассмотрены модели календарного планирования, с помощью которых можно повысить эффективность управления строительными проектами. На основании разработанных моделей планирования оптимального размещения объемов работ во времени можно существенно сократить сроки реализации строительного проекта. Использование равенства величин максимальных потоков в сети позволяет свести решение начальной задачи к методу сетевого программирования

Ключевые слова: управление проектами, календарное планирование, оптимальное размещение объемов работ, продолжительность строительного проекта

1. Введение

Строительные проекты характеризуются временными границами, высокой затратностью и уникальностью. Поэтому процесс реализации проекта занимает значительный промежуток времени. Основной задачей управляющего проектом на начальном этапе выполнения проекта является определение временных границ проекта. Такая задача в общей постановке достаточно сложна, и ее решение разбивается на последовательность этапов реализации проекта, которые получили название фаз проекта. Все фазы суммарно составляют жизненный цикл проекта. Начальные этапы реализации проекта характеризуются высокой степенью неопределенности, которая с течением времени уменьшается за счет поступления новой информации. Естественно, что создавать механизмы управления, учитывающие всю степень начальной неопределенности и дающие универсальные рецепты на все возможные ситуации, невозможно, да и нецелесообразно. Следовательно, возникает необходимость исследования динамики реализации проекта с учетом особенностей каждой фазы всего жизненного цикла проекта, что достигается путем постоянного контроля и анализа хода выполнения проекта, сбора и уточнения его параметров функционирования и оценки возможных результатов его реализации.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Деятельность управляющего проектом на всех стадиях реализации проекта может быть существенно упрощена, если имеется модель календарного планирования, отражающая ход выполнения плановых работ и их отклонение [1, 2].

Высокая степень неопределенности и связанный с этим риск, сопровождающий реализацию строительных проектов, требуют разработки соответствующих моделей, направленных на снижение проектного риска.

Управление проектом представляет собой многократное решение задачи синтеза оптимального механизма управления с учетом всей имеющейся информации.

Полноценное математическое описание задачи календарного планирования возможно выполнить с помощью сетевых моделей, представляющих из себя разновидность ориентированных графов. Такое представление позволяет задействовать хорошо разработанный аппарат теории графов [2]. При этом сетевым графиком называют полное графическое отображение структуры сетевой модели на плоскости [3]. Существует два способа изображения работ на сетевой модели [4]: вершины графа являются событиями, определяющими начало и окончание отдельных работ, а дуги

соответствуют отдельным работам; вершины графа представляют собой работы, а дуги отображают зависимости между работами, то есть определяют технологическую последовательность выполнения работ. Любая последовательность непосредственно следующих друг за другом работ в сетевой модели называется путем. Сумма продолжительностей выполнения работ, составляющих тот или иной путь, называется продолжительностью этого пути [5]. Самый продолжительный из всех путей называется критическим путем сетевой модели.

Работы, лежащие на критическом пути, называются критическими работами, а события – критическими событиями.

Контролируя календарные сроки выполнения критических работ, можно оптимизировать сроки продолжительности проектов [6].

3. Цель и задачи исследования

Целью является повышение эффективности управления строительными проектами путем исследования и разработки моделей календарного планирования и механизмов их реализации.

Достижение цели возможно при решении следующей задачи: получить модель сокращения продолжительности строительного проекта на основе модели календарного планирования оптимального размещения объемов работ во времени [3].

4. Экспериментальные данные и их обработка

Примем, что проект состоит из n работ. Технология проектирования (необходимая очередность выполнения работ) задана сетевым графиком, вершины которого соответствуют работам, а дуги – зависимостям между работами.

Для каждой работы определены ранние допустимые сроки начала a_i , поздние допустимые сроки окончания b_i и продолжительность работы τ_i . Очевидно, $\tau_i \leq b_i - a_i$.

Кроме того, для каждой работы задан график $\{q_{ij}^1\}$ потребности в ресурсах относительно начала работы, то есть $t_i^- \leq t \leq t_i^+ + \tau_i$. Предполагается также, что задан вектор наличия ресурсов $\{Q_j^1\}, j = 1, m$ (m – число видов ресурсов), определяемый на всем горизонте планирования. Требуется определить календарный план выполнения проектных работ в заданные сроки так, чтобы минимизировать перегрузку ресурсов.

В такой постановке задача относится к классу NP-трудных задач и не имеет эффективных методов решения [4, 5].

Представим эту задачу в более простом виде, учитывая определенную гибкость назначения исполнителей на работы.

А именно, примем, что плановый период разбит на T интервалов определенной длины Δ (недели, месяцы, кварталы и т.д.)

Обозначим R_i – множество интервалов, в которых может выполняться работа i , P_{sj} – множество работ, j -го вида, которые могут выполняться в s -ом интервале. Заданы ограничения Q_j на объем проектных работ

каждого вида в каждом интервале [6]. Для каждой проектной работы, в свою очередь, задан объем работ, выполняемый ресурсами каждого вида. Более того, примем, что каждая работа выполняется только одним видом ресурсов.

Таким образом, все работы разбиты на m подмножеств, так что работы j -го подмножества выполняются ресурсами j -го вида.

Обозначим через x_{is} – объем i -ой работы, выполняемый в s -ом интервале. c_{is} – максимальный объем i -ой работы, который можно выполнить в s -ом интервале. Задача заключается в определении $\{x_{is}\}, i = 1, n, s = 1, T$, так, чтобы

$$\begin{aligned} x_{is} &\leq C_{is}, \quad i \in P_s, \quad s = 1, T \\ \sum_{s \in R_i} x_{is} &\leq W_i, \quad i = \overline{1, n}, \end{aligned} \tag{1}$$

где W_i – объем i -ой работы, $\sum_{s \in R_i} x_{is} \leq Q_{sj}, j = \overline{1, m}$ а суммарный объем выполненных работ j -го вида $\sum_{s=1}^T \sum_{i \in P_s} x_{is}$ был максимален.

Ограничимся случаем независимых работ [7]. Для решения задачи определим двудольный граф $G(X, Y)$. Вершины $i \in X$ соответствуют работам, а вершины $s \in Y$ соответствуют интервалам.

Пропускные способности вершин $i \in X$ равны объектам $s \in Y$ (соответствующим работ, а пропускные способности вершины $s \in Y$ равны объему работ, который можно будет выполнить в соответствующем интервале, то есть Q_s).

Пропускные способности дуг $(i, s), 1 \leq i = \overline{1, n}, s_i \in R_i$ равны C_{is} . Задача свелась к определению максимального потока в полученной сети, что соответствует минимальному объему работ, отдаваемых на субподряд [8]. Опишем алгоритм определения потока максимальной величины, основанный на методе сетевого программирования.

Пусть в организации имеются l подразделений, располагающих мощностями ресурсов одного вида. Обозначим Q_i – объем проектных работ, который может выполнить i -е подразделение, w_i – объем l -й работы, $i = 1, n$. Требуется распределить работы между подразделениями, так, чтобы загрузка подразделений (или их перегрузка) была максимально равномерной. Обозначим $x_{ij} = 1$ если i -я работа выполняется подразделением j , $x_{ij} = 0$ в противном случае. Тогда уровень загрузки (перегрузки) подразделения l можно оценить величиной

$$F_l = \sum_j w_l x_{lj} - Q_l. \tag{2}$$

Задача заключается в распределении работ по подразделениям так, чтобы минимизировать

$$\max_l \left(\sum_j w_l x_{lj} - Q_l \right). \tag{3}$$

Рассмотрим сначала частный случай, когда $\sum Q_i = Q$ для всех i .

Рассмотрим постановку задачи. Имеется n подразделений разного функционального назначения. Требуется разбить их на группы так, чтобы функциональные

свойства в группе были минимальными. Такая задача имеет многочисленные варианты [9] применения (равномерное распределение работ между исполнителями, функций по подразделениям организационной структуры и т. д.).

Дадим формальную постановку задачи.

Обозначим через a_i - возможности структурного подразделения, $x_{ij} = 1$ если возможности совпали с необходимостью в их потребностях i попал в j -ю группу, $x_{ij} = 0$ в противном случае. Суммарные возможности в j -й группе равен

$$T_j = \sum_i a_i x_{ij} . \tag{4}$$

Максимальные возможности подразделения

$$T = \max_j \sum_i a_i x_{ij} \rightarrow \min . \tag{5}$$

Поскольку каждое подразделение должно быть помещено только в одну группу, имеем ограничения:

$$\sum_j x_{ij} = 1, i = \overline{1, n} . \tag{6}$$

Задача заключается в минимизации (5) при ограничениях (6). Рассмотрим вспомогательную задачу следующего вида:

Фиксируем допустимый вес каждой группы T и сформулируем следующую задачу: максимизировать сумму работ между исполнителями:

$$\Phi = \sum_{i,j} a_i x_{ij} \rightarrow \max, \tag{7}$$

при ограничениях (5) и (6):

$$\sum_i a_i x_{ij} \leq T, j = \overline{1, m} . \tag{8}$$

Связь между задачами (4) – (5) и (5) – (7) очевидна. Минимальное T , при котором в оптимальном решении задачи 2 размещены все подразделения, определяет оптимальное решение задачи.

Получим сетевое представление задачи. Оно представлено на рис. 1 для случая $n = 3, m = 2$.

Поскольку структура сетевого представления имеет вид сети, а не дерева, то для построения оценочной задачи разделяем каждую вершину нижнего уровня на две вершины. Преобразованная структура приведена на рис. 2.

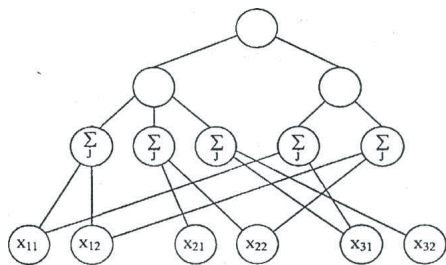


Рис. 1. Сетевое представление задачи

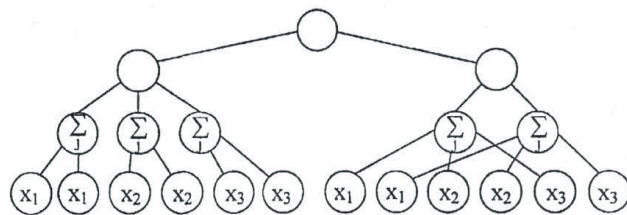


Рис. 2. Преобразованная структура

Все a_i также делим на 2 части u_{ij} и v_{ij} для каждой вершины нижнего уровня так, что

$$u_{ij} + v_{ij} = a_i \text{ для всех } i, j. \tag{9}$$

Рассмотрим следующие две задачи.

Задача 1. Определить x_{ij} так, чтобы максимизировать

$$\sum_{i,j} u_{ij} x_{ij}, \tag{10}$$

при ограничениях (5).

Задача 2. Максимизировать

$$\sum_{i,j} v_{ij} x_{ij}, \tag{11}$$

при ограничениях (8).

Обозначим $S_m(u)$ и $L_m(v)$ оптимальные решения первой и второй задач при заданных u и v . Оценочная задача заключается в определении $\{u_{ij}\}$ и $\{v_{ij}\}$, минимизирующих

$$F(u, v) = S_m(u) + L_m(v), \tag{12}$$

при ограничении (8).

Заметим, во-первых, что в оптимальных решениях первой и второй задач можно принять

$$u_{ij} = y_i, v_{ij} = a_i - y_i, j = \overline{1, m} .$$

Во-вторых, решение первой задачи очевидно:

$$S_m(u) = \sum_i y_i . \tag{13}$$

В третьих, решение m вторых задач при заданных $\{y_i\}$ сводится к решению одной задачи [10]: определить $x_i = 0, 1$, максимизирующие

$$\sum_i x_i (a_i - y_i), \tag{14}$$

при ограничении

$$\sum_i x_i a_i \leq T. \tag{15}$$

Решим задачу (12) и (13) при $y_i = 0, i = \overline{1, n}$. Обозначим через $Q = \{Q_j\}$ множество векторов x , удовлетворяющих (15) и упорядоченных по убыванию

$$M_j = \sum_{i \in Q_j} a_i, Y_j = \sum_{i \in Q_j} y_i, \text{ а } Z = \max_j (M_j - Y_j).$$

Заметим, что при заданных $\{y_i\}$ Z определяет оптимальное решение каждой из приведенных задач. Оценка (11) при этом равна

$$F(y) = mZ + \sum_i y_i, \quad (16)$$

где $y_i \geq 0$ удовлетворяют неравенствам

$$\sum_{i \in Q_j} y_i + Z \geq M_j, j = \overline{1, N}, \quad (17)$$

где N - число различных решений неравенства (15). Таким образом, оценочная задача свелась к определению $0 \leq y_i \leq a_i, i = \overline{1, n}$ и $0 \leq Z \leq M_j$ максимизирующих (16) при ограничениях (17). Это обычная задача линейного программирования.

Фиксируем величину Z и определяем максимальный номер k такой, что $Z < M_k$.

Рассматриваем следующую задачу линейного программирования: определить $0 \leq y_i \leq a_i, i = \overline{1, n}$, минимизирующие

$$Y(Z) = \sum_i y_i, \quad (18)$$

при ограничениях (17), где $j = \overline{1, k}$. Двойственная задача имеет вид: определить $u_j \geq 0, j = \overline{1, k}$, максимизирующие

$$\sum_{j=1}^k (M_j - Z)u_j,$$

при ограничениях

$$\sum_{j \in R_i} u_j \leq 1, i = \overline{1, n}.$$

Обозначим через $Y_0(Z)$ минимальное значение $Y(Z)$. Оценочная задача сводится к минимизации функции одного переменного

$$Y_0(Z) + mZ \rightarrow \min. \quad (19)$$

Берем $T_0 = A/m$, где $A = \sum_i a_i$ и решаем задачу 2.

Если $\Phi_{\max}(T_0) < A$, то увеличиваем T_0 до T_1 так, чтобы появился хотя бы один новый вектор Q_j . Если $\Phi_{\max}(T_1) < A$, то продолжаем увеличение T до тех пор, пока не получим величину T_k такую, что $\Phi_{\max}(T_k) \geq A$. Величина T_k является нижней оценкой для задачи 1. Далее можно применить метод ветвей и границ на основе полученной оценки.

Рассмотрим комплекс из n работ, необходимая последовательность выполнения которых определяется сетью. Для выполнения этих работ выделены ресурсы m видов в количестве $N_i(t), i = \overline{1, 2, \dots, m}$. Очевидно, что при изменении объемов работ меняется и минимальная продолжительность комплекса. Так, если задан директивный срок завершения комплекса T_0 , то может оказаться, >что $T_{\min} > T_0$, т. е. выполнить заданный объем работ, имеющимися ресурсами за время T_0 невозможно. В этом случае возникает задача уменьшения объемов работ, выполняемых выделенным количеством ресурсов. Таким образом, возникает проблема определения оптимальных объемов работ при условии того, чтобы весь комплекс работ был завершен в срок и дополнительные потери были минимальными.

5. Выводы

Полученная модель построения календарного плана по критерию максимума объема выполненных работ, отличается преобразованием исходного технологического графа в агрегируемую сеть.

Применение равенства величин максимальных потоков в исходной и преобразованной сети позволяет свести решение исходной задачи к последовательности задач о максимальном потоке и применить метод сетевого программирования.

Рассмотренные задачи сетевого планирования позволяют управлять связями для минимизации продолжительности комплекса работ при заданных ограничениях на ресурсы.

Литература

1. Авдеев, Ю. А. Оперативное планирование в целевых программах [Текст] / Ю. А. Авдеев. – Одесса: Маяк, 1990. – 132 с.
2. Баркалов, С. А. Теория и практика календарного планирования в строительстве [Текст] / С. А. Баркалов. – Воронеж, ВГСА, 1999. – 216 с.
3. Баркалов, С. А. Модели оптимального выбора портфеля строительных проектов и исполнителей на базе экспертных технологий [Текст] / С. А. Баркалов, Д. А. Богданов, А. Б. Гуреев. – М.: ИПУ РАН, 1999. – 256 с.
4. Баркалов, С. А. Диагностика, оценка и реструктуризация строительного предприятия. Бизнес-планирование [Текст] / С. А. Баркалов, В. Н. Бурков. – Воронеж: ВГСА, 2000г. – 410 с.
5. Бурков, В. Н. Большие системы. Моделирование организационных механизмов [Текст] / В. Н. Бурков. – Москва: Наука, 1989. – 248 с.
6. Бурков, В. Н. Модели и механизмы распределения затрат и доходов в рыночной экономике. [Текст] / В. Н. Бурков, И. И. Горгидзе, Д. А. Новиков, Б. С. Юсупов. – М.: ИПУ РАН, 1997. – 78 с.
7. Бурков, В. Н. Организационные механизмы управления научно-техническими программами [Текст] / В. Н. Бурков, Е. В. Грацианский, А. К. Еналеев, Е. В. Умрихина. – М.: ИПУ РАН, 1993. – 286 с.
8. Бурков, В. Н., Экономико-математические модели управления развитием отраслевого производства [Текст] / В. Н. Бурков, Г. С. Джавахадзе. – М.: ИПУ РАН, 1998. – 124 с.
9. Новиков, Д. А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем [Текст] / Д. А. Новиков. – М.: "Проблемы управления", 1999. – 124 с.
10. Хасби, Д. Стратегический менеджмент [Текст] / Д. Хасби. – М.: Контур, 1998. – 346 с.