УДК 65.0(075.8)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ ЗА СЧЕТ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Усов А.В., Максимов С.С.

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.

Актуальность проблемы. 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.

Анализ достижений и публикаций. 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].

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.

Целью статьи 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

Основной материал. 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, $\tau_i \le b_i - a_i$.

Кроме того, для каждой работы задан график $\{q_{ij}^1\}$ потребности в ресурсах относительно начала работы, то есть $t_i^н \le t \le t_i^н + \tau_i$. Предполагается также, что задан вектор наличия ресурсов $\{Q_j^t\}, j = \overline{1,m}$ (*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 [2].

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_{tj} на объем проектных работ каждого вида в каждом интервале. 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 $\{x_{is}\},\ i=\overline{1,n}\ \ s=\overline{1,T}$, так, чтобы

$$x_{is} \le C_{is},\ \ i \in P_s,\ \ s = 1,\ T$$

$$\sum_{s \in R_1} x_{is} \le W_i, \quad i = \overline{1,\ n}, \tag{1}$$

$$\sum_{s \in R_1} x_{is} \le Q_{sj}, \quad j = \overline{1,m}$$

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

Ограничимся случаем независимых работ. Для решения задачи определим двудольный граф G(X,У). Вершины $i \in X$ соответствуют работам, а вершины $s \in Y$ соответствуют интервалам. Пропускные способности вершин $i \in X$ равны объектам $s \in Y$(соответствующих 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 $i=\overline{1,n}\ \ s_i \in R_i$ равны C_{is}. Задача свелась к определению максимального потока в полученной сети, что соответствует минимальному объему работ, отдаваемых на субподряд. 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 ı-й работы, $i=\overline{1,n}$. 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 1 можно оценить величиной

$$F_i = \sum_j w_i x_{ij} - Q_i \tag{2}$$

Задача заключается в распределении работ по подразделениям так, чтобы минимизировать

$$\max_i (\sum_j w_i x_{ij} - Q_i) \tag{3}$$

Рассмотрим сначала частный случай, когда $Q_i = Q$ для всех i. В этом случае задача сводится к классической «задаче о камнях».

Дадим постановку «задачи о камнях». Имеется n «камней» разного веса. Требуется разбить их на группы так, чтобы максимальный вес камней m в группе был минимален. Задача о камнях имеет многочисленные варианты применения (равномерное распределение работ между исполнителями, функций по подразделениям организационной структуры и т.д.). Дадим формальную постановку задачи.

Обозначим через a_i - вес 1-го камня, $x_{ij} = 1$ если камень i попал в j|-ю кучку (группу), $x_{ij} = 0$ в противном случае. Суммарный вес камней в j-й группе равен

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

Максимальный вес группы

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

Поскольку каждый камень должен быть помещен 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). Рассматрим вспомогательную задачу следующего вида:

Фиксируем допустимый вес каждой группы T и сформулируем следующую задачу: максимизировать сумму весов размещенных в ящики вместимостью T камней:

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

при ограничениях (5) и (6):

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

Связь между задачами (4)-(5) и (5)-(7) очевидна. Минимальное Т, при котором в оптимальном решении задачи *2* размещены все камни, 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.

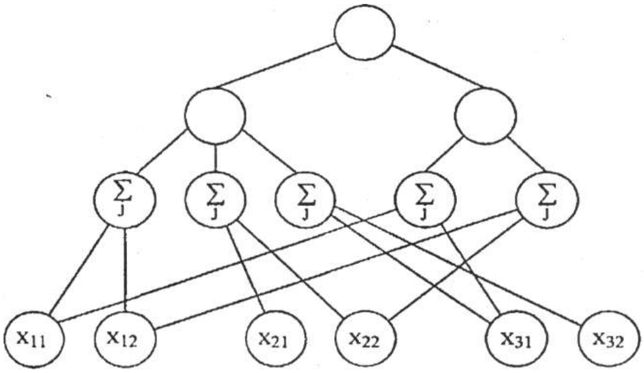

Рис. 1. Сетевое представление задачи

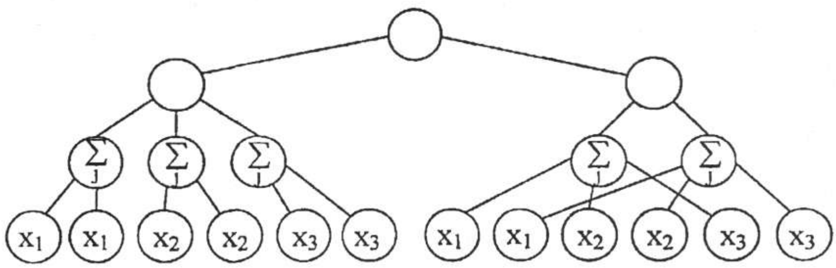

Рис. 2. Преобразованная структура

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 $\{u_{ij}\}$, 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 о ранце: определить $x_i = 0,1$, максимизирующие

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

при ограничении

$$\sum_i x_i a_i \le T \tag{15}$$

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

$$M_j = \sum_{i \in Q_j} a_i, \quad Y_j = \sum_{i \in Q_j} y_i,$$

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

$$F(y) = mZ + \sum_i y_i \tag{16}$$

где $y_i \geq 0$ удовлетворяют неравенствам

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

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

$$Y(Z) = \sum_i y_i \tag{18}$$

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

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

при ограничениях

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

где R_i – множество номеров Q_j, содержащих камень i.

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

$$Y_0(Z) + mZ \rightarrow \min \tag{19}$$

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 $T_к$ такую, что $\Phi_{\max}(T_k) \geq A$. Величина $T_к$ является нижней оценкой для задачи 1. Далее можно применить метод ветвей и границ на основе полученной оценки.

Выводы. Получена 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.

Литература

1. Авдеев Ю.А. Оперативное планирование в целевых программах. / Ю. А. Авдеев // Одесса: Маяк, 1990. – 132 с.

2. Баркалов С.А. Теория и практика календарного планирования в строительстве. / С.А. Баркалов // Воронеж, ВГАСА, 1999. – 216 с.

Abstract

Usov A.V., Maximov S.S.

Improving the efficiency of building projects by design model scheduling

In the article the considered models of the calendar planning by means of that can be promoted efficiency of management building projects. On the basis of the worked out models of planning of the optimal placing of volumes of works in time it is possible substantially to shorten duration of realization of building project.