

СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЕКТОВ

О. А. Ляхов

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

УДК 519.876:3

Стратегическое планирование включает выбор проектов для выполнения в перспективных планах. На больших интервалах времени ресурсно-календарные ограничения в математических моделях отображаются укрупненно, что порождает систематические ошибки в планировании. Здесь предлагается постановка задачи выбора проектов для реализации с детализированным учетом ограниченности во времени нескладируемых ресурсов. Рассмотрены сетевые модели управления и алгоритмы построения долгосрочных планов для реальных производственных условий.

Ключевые слова: сетевые модели проектов, стратегический план, расписание работ.

Введение

Стратегическое планирование проектов включает выбор из предварительного перечня таких заказов, которые обеспечивают наилучшие показатели деятельности на длительный период. При этом учитываются ограничения по ресурсам для больших интервалов времени и прогнозы экономических показателей деятельности предприятий [1, 2]. Отбор проектов связан с оценкой эффективности при построении долгосрочных планов, здесь ресурсные ограничения учитываются укрупненно на больших интервалах времени [3]. Затем решается задача календарного планирования большой размерности (см., например, [4]), в которой детализировано отображаются ресурсно-временные условия. Процедуры согласования стратегических и тактических планов выявляют систематические ошибки в планировании, связанные с укрупненным учетом ресурсов в долгосрочном плане [5].

Рассматривается задача выбора проектов и построения календарных планов. Постановка задачи отбора проектов для реализации с детализированным учетом ограниченности во времени нескладируемых ресурсов выполнена на базе моделей сетевого планирования (нескладируемыми называются ресурсы, которые теряются при их неиспользовании). Предложены модели и алгоритмы построения долгосрочных планов для реальных производственных условий.

1 Обозначения

$RESSP$ — список нескладируемых ресурсов.

Постоянные величины.

R_{kt} — имеющееся количество k -го нескладируемого ресурса (в единицах времени) в интервале времени $t, t = \overline{1, t_{\text{гор}}}$;

V_{kt} — требуемое количество k -го нескладируемого ресурса для выполнения календарного плана в t -й временной интервал, $k = \overline{1, R}, t = \overline{1, t_{\text{гор}}}$;

OH_l — признак обязательной номенклатуры.

Перечень значений признака обязательной номенклатуры:

$OH_l = 0$ — заказ необязательно должен быть завершен в плановом периоде.

$OH_l = 1$ — выполнение заказа обязательно должно быть завершено в плановом периоде (это более легкое требование по отношению к директивным срокам выполнения заказов). Это означает, что дата выпуска заказа должна быть меньше t_{ω} (т.е., окончания планового периода). В случае скользящего планового периода после очередного расчета необходимо утверждать даты таких заказов. Таким образом, в следующем расчете

заказ уже не будет обязательной номенклатурой, он будет иметь более строгое условие - директивную дату выпуска (т.е., точную плановую дату выпуска).

D_{1l}, D_{2l} — директивные даты начала и окончания работ по заказу, необязательные входные параметры; отсутствие директивных дат соответствует нулевому значению параметра.

Данные об операциях заказов:

$G_l = (E_l, M_l)$ — сетевая модель, описывающая процесс изготовления l -го заказа (ориентированный без контуров граф, $l = \overline{1, L}$, L — количество заказов в портфеле заказов);

M_l — множество дуг (операций, работ) l -го заказа;

E_l — множество вершин (событий) l -го заказа;

$(i_l, j_l) \in M_l$ — операция l -го заказа;

$i_l, j_l \in E_l$ — начальная и конечная вершины операции;

$\Gamma^{-1}(i) = \{j | (j, i) \in M, j \in E\}$ — множество событий, непосредственно предшествующих событию $i \in E$;

$\Gamma^{+1}(i) = \{j | (i, j) \in M, j \in E\}$ — множество событий, непосредственно следующих за событием $i \in E$;

$t(i_l, j_l)$ — продолжительность операции;

$\omega_l \in E_l$ — выходные события сетевых моделей заказов: $\Gamma^{+1}(\omega_l) = \emptyset$;

$\alpha_l \in E_l$ — входные события сетевых моделей заказов: $\Gamma^{-1}(\alpha_l) = \emptyset$;

$RES(i_l, j_l)$ — список нескладируемых ресурсов, необходимых для выполнения операции $(i_l, j_l) \in M_l$;

$V_k(i_l, j_l)$ — нормативно необходимый объем k -го нескладируемого ресурса для выполнения операции $(i_l, j_l) \in M_l, k \in RES(i_l, j_l)$;

$S_k(i_l, j_l)$ — объем k -го ресурса, потребляемый операцией (i_l, j_l) в одном интервале времени (интенсивность), $k = \overline{1, R}, (i_l, j_l) \in M_l, k \in RES(i_l, j_l)$.

Интенсивность — в этой задаче это постоянная расчетная (нормативная) величина для каждой операции, предназначенная для измерения расхода ресурса, которая показывает, сколько единиц времени данного ресурса потребляет данная операция в каждую (одну) единицу времени. Входными параметрами для расчета интенсивности являются $V_k(i_l, j_l)$ и $t(i_l, j_l)$. Они однозначно определяют интенсивность для всех операций, потребляющих ресурсы: $S_k(i_l, j_l) = V_k(i_l, j_l)/t(i_l, j_l)$; $S_k(i_l, j_l) > 0$ для $k \in RES(i_l, j_l)$ и $k \in RESSP$; $S_k(i_l, j_l) = 0$ для $k \notin RESSP$. $DOK_{пл}(i_l, j_l)$ соответственно даты планового (расчетного) начала и окончания операции (i_l, j_l) .

Данные о плановом периоде и горизонте планирования:

$T = [t_\alpha, t_\omega]$ — плановый период;

t_α — начало планового периода;

t_ω — окончание планового периода;

$T_{гор} = [t_\alpha, t_{гор}]$ — горизонт планирования;

$t_{гор}$ — конец горизонта планирования;

$t_{гор} > t_\omega$.

Переменные величины.

$t_p(i_l)$ — раннее время наступления события $i_l \in E_l$ с учетом:

для задачи аналитических расчетов — только временных ограничений типа PERT (выполнение работы может быть начато после завершения всех предшествующих ей работ);

для задачи построения объемно-календарного плана — топологии и ограничений по ресурсам;

Δ_{kt} — переменная, характеризующая неравномерность потребления k -го нескладируемого ресурса в t -й интервал времени, $k = \overline{1, R}, t = \overline{1, t_\omega}$. $\Delta_{kt} = R_{kt} - V_{kt}$.

2 Постановка задачи

Для составления объемно-календарного плана, для включения заказов обязательной номенклатуры используется период $T = [t_\alpha, t_\omega]$. Для прогноза по заказам с длительным циклом изготовления, учета незавершенного производства, прогнозирования производственных показателей на перспективу, аналитических расчетов возможности выполнения отдаленных во времени заказов используется горизонт планирования период $T_{гор} = [t_\alpha, t_{гор}]$.

Задача заключается в определении времен начала и окончания работ заказов, при выполнении ограничений по ресурсам во времени, при соблюдении сроков выполнения заказов. В качестве критерия могут быть выбраны различные показатели эффективности деятельности предприятия. Здесь целевая функция — минимизация отклонений сроков выполнения заказов от директивных дат.

Модель задачи включает условия (1–7).

$$DH_{\text{пл}}(i_l, j_l) \geq \max(t_\alpha, D_{1l}) \text{ для } (i_l, j_l) \in M_l, l = \overline{1, L}, OH_l = 1 \quad (1)$$

Заказ обязательной номенклатуры не может быть включен в план раньше начала планового периода и раньше заданного директивного срока начала работ по заказу. Для заказов необязательной номенклатуры, или с неограниченными сроками завершения, в принципе не исключена ситуация не включения в план, т.е. $DH_{\text{пл}}(i_l, j_l)$ в этом случае не определено.

$$DH_{\text{пл}}(i_l, j_l) \geq DOK_{\text{пл}}(z_l, i_l), l = \overline{1, L}, z_l \in \Gamma^{-1}(i_l) \quad (2)$$

Условия (2) означают, что каждая операция должна начинаться после завершения всех предшествующих ей операций.

$$DOK_{\text{пл}}(i_l, \omega_l) \leq D_{2l} + \Delta_l, l = \overline{1, L}, (i_l, \omega_l) \in M_l \quad (3)$$

Условия (3) означают, что каждая операция должна заканчиваться не позднее директивной даты.

$$DOK_{\text{пл}}(i_l, \omega_l) \leq t_\omega + \Delta_l, l = \overline{1, L}, (i_l, \omega_l) \in M_l, OH_l = 1 \quad (4)$$

$\omega_l \in E_l$ — выходные события сетевых моделей заказов: $\Gamma^{+1}(\omega_l) = \emptyset$.

Условия (4) означают, что операция заканчивается не позднее окончания планового периода для заказов обязательной номенклатуры.

Переменная $\Delta_l > 0$ показывает превышение над директивной датой или окончанием планового периода в зависимости от типа заказа (обязательная номенклатура, директивная дата, другие).

$$DOK_{\text{пл}}(i_l, j_l) = DH_{\text{пл}}(i_l, j_l) + t(i_l, j_l), l = \overline{1, L}, (i_l, j_l) \in M_l \quad (5)$$

Условия (5) означают, что время окончания операции определяется по известным формулам сетевого планирования.

Ресурсные ограничения

$$V_{kt} = \sum_{(i_l, j_l) \in M_l, l = \overline{1, L}, DH_{\text{пл}}(i_l, j_l) \leq t \leq DOK_{\text{пл}}(i_l, j_l)} S_k(i_l, j_l) k \in RESSP, k = \overline{1, R}, t = \overline{1, t_{\text{гор}}} \quad (6)$$

Потребность в ресурсе рассчитывается по фронту работ в момент времени t (работ, выполняемых в момент времени t) и только для ресурсов из списка $RESSP$.

$$\Delta_{kt} = R_{kt} - V_{kt} \geq 0 \quad k = \overline{1, R}, t = \overline{1, t_{\text{гор}}}, k \in RESSP \quad (7)$$

Ограничения по ресурсам. В каждый промежуток времени должно строго соблюдаться не превышение потребности имеющемуся ресурсу.

Критерий задачи — минимизация отклонений от заранее заданных дат выпуска:

$$\sum_{l: D_{2l} > 0} (t_p(\omega_l) - P_{2l})^2 + \sum_{l: OH_l = 1} \max((t_p(\omega_l) - t_\omega), 0)^2 \rightarrow \min$$

3 Алгоритм поиска решения

Сетевые модели топологически упорядочиваются [6]. Затем строится допустимый план, в котором соблюдаются ограничения по нескладированным ресурсам. Начальная информация списка вершин формируется следующим образом: для входных и выходных событий сетевых моделей фиксируются предельные сроки наступления, для внутренних вершин моделей в начале полагается $DH_{\text{пл}}(i_l, j_l) = 0$. Затем в этих полях рассчитывается раннее время наступления событий с учетом топологии и ограничений по ресурсам.

Далее выполняется процедуры второго этапа решения задачи, улучшающие исходное решение. Здесь использован многопоточный случайный поиск. Уменьшение критериальной функции достигается последовательными просмотрами с возвратами топологически упорядоченного списка дуг (операций) вперед и назад с использованием информации списка вершин (предварительное допустимое расписание, полученное на первом этапе).

Поиск решения организован в виде процессов многопоточного программирования: запускается сразу несколько независимых процедур случайного поиска, каждой из которых соответствует один поток. Алгоритм реализуется последовательными просмотрами вперед и назад массива дуг (операций) в каждом из потоков, выполняемых независимо. При просмотрах вперед реализуются попытки сдвига операций назад по оси времени с целью сократить значение критерия. При обратных проходах выполняются сдвиги вперед (так называемый алгоритм “метла”). Используются различные правила приоритетов, накапливается статистика удачных и неудачных правил. Возможна реализация случайного поиска с самообучением. Организация просмотра одинакова во всех процессах.

При просмотрах вперед выполняется сдвиг операций по оси времени назад (к началу планового периода), сохраняющий допустимость расписания по ресурсным условиям (не превышение имеющегося количества ресурсов).

Обработка одной дуги (операции) включает следующие вычисления:

- расчет допустимого интервала выполнения операции;
- определение новых значений начала и окончания операции на допустимом интервале с использованием эвристических правил случайного и детерминированного поиска;
- перенос операции влево по оси времени для увеличения допустимого интервала выполнения последующих операций списка;
- формирование новых значений матрицы потребностей в ресурсах в связи с включением операции в план, перерасчет критериальной функции и времени наступления конечного события операции.

В результате просмотра множества операций, заканчивающихся в вершине j_l , новое значение $DH_{пл}(i_l, j_l)$ не увеличивается. Таким образом, все операции с началом в вершине j_l имеют не меньший интервал для перестановки при проходе вперед по списку дуг, что увеличивает область выбора дат начала и окончания последующих операций.

Просмотр назад аналогичен просмотру вперед, выполняется с конца топологически упорядоченного списка дуг к началу. Также сдвигаются операции (к их допустимому окончанию) со случайным использованием правил приоритетов.

Выполнение проходов назад-вперед в многопоточном режиме является процедурой нижнего уровня.

Несколько таких унифицированных блоков с одинаковыми входными данными и однотипной организацией программного обеспечения запускаются родительским процессом.

Центральный процесс запускает потоки случайного поиска, которые реализуют функции решения задачи. Они выполняются независимо, взаимодействуют с породившим их процессом по данным и управлению (оценка скорости изменения целевой функции, настройка в процессе вычислений правил выбора способов построения расписания операций и т.д.).

По структуре входных и выходных данных все потоки идентичны. Блоки нижнего уровня отличаются процедурами случайного или детерминированного определения дат. Модульность блоков позволяет "собирать" (настраивать, добавлять, комбинировать) алгоритм из отдельных правил поиска без изменения остальных частей программного обеспечения.

Заключение

Для практического использования в управлении проектами разработана модель выбора заказов (стратегическое планирование), позволяющая оценивать распределение нескладированных ресурсов во времени на основе сетевых методов (тактическое планирование). Предложены алгоритмы приближенного решения задачи. Система сетевых моделей предназначена для использования на реальных производственных объектах. Учет ресурсно-временных детализированных условий в сетевых моделях на стадии выбора заказов для выполнения позволяет строить более достоверные объемно-календарные и оперативные планы проектов в сравнении с известными моделями планирования.

Разработанные приближенные алгоритмы расчета стратегических и тактических планов по управлению проектами позволяют обрабатывать объемы информации больших сетевых моделей (несколько сотен тысяч работ) на персональных вычислительных машинах, достаточные для практических целей.

Список литературы

- [1] Данилин В. И. Операционное и финансовое планирование в корпорации (методы и модели). М.: Наука, 2006. 334 с.
- [2] Плещинский А. С. Оптимизация межфирменных взаимодействий и внутрифирменных управленческих решений. М.: Наука, 2004. 254 с.
- [3] Мауэргауз Ю. Е. «Продвинутое» планирование и расписания (AP&S) в производстве и цепочках поставок. М.: Экономика, 2012. 574 с.
- [4] Борисовский П.А., Еремеев А.В. Построение расписаний многопродуктового производства с использованием целочисленного линейного программирования и эволюционных вычислений. — "Информационные технологии" №6. Том 21. 2015, С. 412–421
- [5] Ляхов О.А. Согласование в двухуровневых моделях управления сложными комплексами работ. — Новосибирск, 1998, — 26с. — (Препринт / РАН. Сиб. отд-ние. ИВМ и МГ, — 1114).
- [6] Ляхов О.А. Алгоритмы расчета параметров сетевых моделей. — Новосибирск, 1986, — 21с. — (Препринт / РАН. Сиб. отд-ние. ВЦ; 662).

*Ляхов Олег Алексеевич — к.э.н., науч. сотрудник Института
вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;
e-mail: loa@rav.sscc.ru*

Дата поступления — 25 апреля 2017 г.