

УДК 658.336.8

Э.Г. ПЕТРОВ¹, А.С. КОТОВ²¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина² Институт машин и систем НАНУ, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВОГО И РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СОВОКУПНОГО ПЛАНА ПРОЕКТА

Статья посвящена математическому моделированию движения финансовых средств и ресурсов проекта. Разработана математическая модель совокупного плана проекта в виде комплекса финансовых и ресурсных профилей проекта. Предложены операции над профилями, обеспечивающие возможность перехода на другие уровни управления и горизонты планирования. Рассмотрен механизм применения предложенных моделей в ходе анализа ресурсного и финансового обеспечения проектов.

научно-технический проект, финансовое обеспечение, ресурсное обеспечение, математическое моделирование, совокупный план

Введение

Одной из наиболее сложных задач при планировании научно-технических проектов является согласование планов проекта с множеством планов работы предприятий-исполнителей. На предприятии существует целая иерархия планов от долгосрочного стратегического плана развития предприятия до детальных краткосрочных планов производства. Построение множества согласованных планов на разных уровнях управления и горизонтах планирования с учётом интересов и потребностей участников всех выполняющихся на предприятии проектов является задачей совокупного планирования [1].

Затраты на выполнение проекта распределены во времени неравномерно. При планировании желательно избегать пиковых загрузок ресурсов, когда в отдельные периоды потребности в ресурсах существенно превышают их наличие.

Такие ситуации ставят под угрозу выполнение сразу нескольких проектов. Чтобы обеспечить равномерное потребление ресурсов и достичь финансовой и ресурсной реализуемости проекта, необходимо согласовать план проекта с прочими планами предприятия.

Таким образом, *актуальной* является разработка математических моделей совокупности планов предприятия по ряду проектов.

Эффективное управление научно-техническими проектами требует согласованного распределения финансовых и материальных ресурсов между проектами. Наличие на предприятии необходимых ресурсов не гарантирует успешного выполнения проекта, так как нужные ресурсы могут быть заняты в другом проекте. В этом случае нужные ресурсы могут быть приобретены при условии наличия необходимых денежных средств.

Таким образом, выполнение совокупного планирования требует динамического анализа ресурсов и затрат проекта по всем этапам жизненного цикла. Задачи анализа динамики финансирования проекта рассмотрены в работах [2, 3]. Эта задача решена с использованием финансовых профилей проекта, характеризующих динамику движения денежных средств. Аппарат финансовых профилей имеет достаточно широкие возможности, позволяющие в динамике моделировать и анализировать различные аспекты процесса финансирования проекта. Однако проект в работах [2, 3] рассматривается изолированно, задача согласования плана финансирования про-

екта с другими планами предприятия, а также с другими проектами не ставится.

Необходимо построить математические модели ресурсного и финансового обеспечения проекта, позволяющие моделировать и анализировать планы проекта в разных горизонтах планирования и на разных уровнях управления. Для этого следует расширить и модифицировать аппарат финансовых и ресурсных профилей проекта таким образом, чтобы обеспечить возможность анализа совокупности планов на разных горизонтах планирования. Разработка указанной математической модели является *задачей данной работы*.

Моделирование финансового и ресурсного обеспечения проекта

Для моделирования финансового и ресурсного обеспечения проекта будем применять аппарат финансовых и ресурсных профилей, предложенных в работе [1], расширив и дополнив его.

Под *финансовым профилем* проекта будем понимать кривую в пространстве координат «время – денежные средства», характеризующую какой-либо из аспектов процесса движения денежных средств при выполнении проекта.

Аналогично под *ресурсным профилем* проекта будем понимать кривую в пространстве координат «время – объём ресурсов», характеризующую какой-либо из аспектов процесса движения ресурсов при выполнении проекта

Профиль затрат отражает динамику потребления финансовых средств в процессе выполнения работ

$$z(t) = \sum_{i \in A(t)} \frac{z_i}{\tau_i}, \quad (1)$$

где z_i – запланированные затраты на выполнение работы i ; $A(t) = \{i : t_i^{ST} < t \leq t_i^{FT}\}$ – множество работ, выполняющихся в момент t в соответствии с сетевым графиком проекта; t_i^{ST}, t_i^{FT} – сроки начала

и окончания работы i ; τ_i – продолжительность работы i .

Профиль поступлений отражает динамику поступления денежных средств от заказчика. Возможны различные схемы финансирования проекта. В научно-технических проектах наиболее часто применяется финансирование с частичной предоплатой. Для него профиль поступлений имеет вид

$$s(t) = \frac{\alpha}{100} \sum_{j=1}^{N_E} PrESt_j(t) s_j + \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) \sum_{j=1}^{N_E} PrEFin_j(t) s_j, \quad (2)$$

где s_j – финансирование j -го этапа в соответствии с финансовым планом проекта; N – количество этапов проекта; α – процент финансирования, выделяющейся в качестве предоплаты в начале этапа; $PrESt_j(t), PrEFin_j(t)$ – логические предикаты, показывающие что начало или окончание этапа j происходят в момент t :

$$PrESt_j(t) = (t_j^{StE} = t); \quad (3)$$

$$PrEFin_j(t) = (t_j^{FinE} = t), \quad (4)$$

где t_j^{FinE}, t_j^{StE} – сроки начала и окончания этапа j в соответствии с календарным планом проекта.

Введём ресурсные профили проекта

$$r_m(t) = \sum_{i \in A(t)} r_{mi}, \quad (5)$$

где r_{mi} – потребность в ресурсах вида m при выполнении i -й работы.

Ресурсные профили проекта характеризуют динамику потребления ресурсов разных видов при выполнении проекта.

Профиль закупки ресурсов отражает динамику приобретения ресурсов предприятием

$$r_m^{Buy}(t) = PrBuy_m(t) r_m^{Buy}(t), \quad (6)$$

где $PrBuy_m(t)$ – логический предикат, показывающий что на момент t в соответствии с планом заку-

пок предусмотрена закупка ресурсов вида m ; $r_m^{Buy}(t)$ – запланированный объём закупок.

Профиль затрат проекта (1) может быть построен путём суммирования затрат ресурсов всех видов в стоимостном эквиваленте, а также накладных расходов

$$z(t) = \sum_m c_m r_m(t) + z^{накл}, \quad (7)$$

где c_m – цена единицы ресурсов вида m ; $z^{накл}$ – величина накладных затрат в единицу времени.

Комплекс ресурсных и финансовых профилей проекта является математической моделью его ресурсного и финансового обеспечения. Профили позволяют увязать в единую модель различные планы проекта с планами предприятия:

- финансовый план и бюджет проекта;
- бюджет движения денежных средств;
- сетевой график проекта;
- план производства;
- план закупок и другие планы.

Таким образом, комплекс ресурсных и финансовых профилей проекта можно рассматривать как модель совокупного плана проекта.

Операции над профилями

Определим несколько операций, обеспечивающих выполнение преобразований финансовых и ресурсных профилей проекта, необходимых для построения модели совокупного плана.

Операция *агрегирования* профилей $AGR(P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t))$ заключается в объединении нескольких профилей в один путём суммирования значений профилей тех проектов, которые выполняются в данный момент времени:

$$AGR(P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)) = \sum_{\substack{i=1, \\ (TSt_i \leq t) \wedge \\ (TFin_i > t)}}^n P_i(t); \quad (8)$$

$$t \in [\min_i (TSt_i), \max_i (TFin_i)],$$

где St_i, Fin_i – сроки начала и окончания проектов.

Сроки начала и окончания разных проектов не совпадают. Проекты частично перекрываются во времени. Агрегированный профиль по формуле (8) определяется на интервале времени от наиболее раннего срока начала до наиболее позднего срока окончания всех проектов. Суммирование производится только по тем проектам, которые перекрываются во времени.

Операция определения *кумулятивного* профиля $CUM(P(t), t)$ состоит в определении профиля, построенного путём суммирования всех значений исходного профиля $P(t)$ на интервале от TSt до t , где TSt – первый момент времени, в который профиль имеет ненулевое значение. Полученный в результате профиль будем называть *кумулятивным*. Если модель строится, исходя из предположения, параметры проекта изменяются во времени непрерывно, кумулятивный профиль определяется путём интегрирования

$$CUM(P(t), t) = \int_{TSt}^t P(v) dv. \quad (9)$$

Если же предполагается, что параметры проекта могут изменяться лишь в дискретные моменты времени, интегрирование в формуле (9) можно заменить суммированием

$$CUM(P(t), t) = \sum_{v=TSt}^t P(v). \quad (10)$$

Операция *суммирования* профиля $SUM(P(t), t_1, t_2)$ заключается в определении суммы всех его значений. Для моделей с непрерывным временем сумма значений определяется путём интегрирования исходного профиля

$$SUM(P(t), t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt, \quad (11)$$

где $TFin$ – последний момент времени, в который профиль имеет ненулевое значение.

Для моделей с непрерывным временем сумма значений определяется путём суммирования значений исходного профиля

$$\text{SUM}(P(t), t_1, t_2) = \sum_{t=t_1}^{t_2} P(t). \quad (12)$$

Сравнивая формулы (9), (10) с (11), (12), легко видеть, что

$$\text{CUM}(P(t), TFin) = \text{SUM}(P(t), TSt, TFin),$$

т.е. значение кумулятивного профиля в конечной точке равно сумме всех значений исходного профиля.

Операция агрегирования соответствует переходу на верхний уровень управления, на котором руководство рассматривает укрупнённые показатели по нескольким проектам.

Операция *усреднения* профиля $\text{AVRG}(P(t), t_1, t_2)$ заключается в определении среднего значения профиля на интервале (t_1, t_2) :

$$\begin{aligned} \text{AVRG}(P(t), t_1, t_2) &= \\ &= \frac{1}{t_2 - t_1} \text{SUM}(P(t), t_1, t_2). \end{aligned} \quad (13)$$

Операции суммирования и усреднения соответствуют переходу на более продолжительный горизонт планирования, на котором руководство рассматривает усреднённые показатели проекта по достаточно крупным календарным периодам.

Операция *сдвига* профиля $\text{SHFT}(P(t), t_1, \Delta t)$ заключается в переносе части профиля вдоль оси времени, начиная с момента t_1 на величину Δt :

$$\begin{aligned} \text{SHFT}(P(t), t_1, \Delta t) &= \\ &= \begin{cases} P(t), & \text{при } t < t_1; \\ 0, & \text{при } t_1 \leq t < t_1 + \Delta t; \\ P(t - \Delta t), & \text{при } t \geq t_1 + \Delta t. \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

Операция сдвига профиля применяется для моделирования ситуации временной остановки проекта с последующим возобновлением работ в соответствии с первоначальным планом, но со сдвигом на более поздний срок.

Предложенные операции позволяют построить модели ресурсного и финансового обеспечения планов проекта с различной степенью детализации.

Анализ финансового и ресурсного обеспечения проекта

Аппарат финансовых и ресурсных профилей является гибким инструментом планирования проекта. Используя его, можно выполнить анализ финансового и ресурсного обеспечения проекта как в целом, так и на отдельных интервалах времени. Это позволяет выявить периоды времени, когда ресурсы предприятия перегружены или, наоборот, не востребованы.

План проекта реализуем, только если для него выделены все необходимые ресурсы. Однако понятие ресурсного обеспечения имеет много аспектов. Ресурсы должны быть выделены своевременно, в соответствии с планом работ. С другой стороны, некоторые виды ресурсов могут быть заменены другими. Финансовые средства, выделенные заказчиком, должны обеспечивать возможность закупки и эксплуатации необходимых ресурсов. Однако заказчик, как правило, не выделяет все необходимые средства до начала работ. Обычной схемой финансирования является такая, при которой заказчик в начале каждого этапа выделяет аванс, а окончательно рассчитывается по завершении этапа (финансирование с частичной предоплатой). Таким образом, допускается кратковременный дефицит финансовых средств, который покрывается за счёт собственных средств исполнителя и погашается в конце этапа. Эти особенности должны быть учтены при построении модели ресурсного и финансового обеспечения проекта и её анализе.

Введём понятия полноты и достаточности финансового и ресурсного обеспечения проекта.

Финансовое обеспечение проекта будем считать *достаточным*, если общая сумма затрат не превосходит сумму средств, выделенных заказчиком. Критерий достаточности финансового обеспечения можно сформулировать в виде логического предиката $PrFinEnough$:

$$\begin{aligned} PrFinEnough &= \\ &= (\text{SUM}(z(t), TSt, TFin) \leq \\ &\leq \text{SUM}(s(t), TSt, TFin)). \end{aligned} \quad (15)$$

Финансовое обеспечение проекта будем считать *полным*, если в любой момент времени сумма средств, затраченных к этому моменту, не превосходит общей суммы средств выделенных заказчиком с учётом предельного допустимого уровня дефицита. Критерий полноты финансового обеспечения можно сформулировать в виде логического предиката $PrFinFull$:

$$\begin{aligned} PrFinFull &= (Z(t) \leq S(t) + D), \\ &t \in [TSt, TFin], \end{aligned} \quad (16)$$

где D – предельный уровень дефицита, который может быть временно покрыт за счёт собственных средств исполнителя, $Z(t)$, $S(t)$ – кумулятивные профили затрат и поступлений:

$$Z(t) = \text{CUM}(z(t), t); \quad (17)$$

$$S(t) = \text{CUM}(s(t), t). \quad (18)$$

Ресурсное обеспечение проекта будем считать *достаточным*, если у исполнителя имеются все необходимые для его выполнения ресурсы, с учётом плана закупки. Критерий достаточности ресурсного обеспечения можно сформулировать в форме логического предиката $PrResEnough$:

$$\begin{aligned} PrResEnough &= \\ &= \bigwedge_{m=1}^M (\text{SUM}(r_m(t), TSt, TFin) \leq \\ &\leq r_m^0 + \text{SUM}(r_m^{Buy}(t), TSt, TFin)), \end{aligned} \quad (19)$$

где M – количество видов ресурсов; r_m^0 – начальное количество ресурсов вида m .

Ресурсное обеспечение проекта будем считать *полным*, если в любой момент времени на предприятии имеются и не задействованы в других проектах ресурсы всех видов, необходимые для выполнения данного проекта. Полноту ресурсного обеспечения невозможно определить по одному изолированному проекту. Для этого следует в комплексе рассмотреть все проекты, выполняющиеся одновременно с данным. Критерий полноты ресурсного обеспечения

можно сформулировать в виде логического предиката $PrResFull$:

$$\begin{aligned} PrResFull &= \\ &= \bigwedge_{m=1}^M (\text{AGR}(R_m^1(t), \dots, R_m^N(t)) \leq r_m^0 + r_m^{Buy}(t)), \\ &t \in [TSt, TFin]. \end{aligned} \quad (20)$$

При вычислении критерия (20) выполняется агрегирование потребности в ресурсах по всем проектам.

Критерий (15) показывает принципиальную возможность выполнения данного проекта. Его невыполнение говорит об ошибках в планировании. В этом случае необходимо пересмотреть технико-экономическое обоснование проекта и его финансовый план.

Критерий (19) показывает возможность выполнения проекта на данном предприятии-исполнителе. Критерии (15), (19) не имеют привязки ко времени. Они используются на начальных этапах планирования, до разработки календарного плана.

Критерий (16) характеризует возможность выполнения проекта в рамках заданных сроков и затрат. Если критерий (15) выполняется, а критерий (16) – нет:

$$\begin{aligned} (PrFinEnough = 1) \wedge \\ \wedge (PrFinFull = 0), \end{aligned} \quad (21)$$

(где 1, 0 – логические значения «истина» и «ложь»), то проект может быть выполнен за счёт привлечения заёмных средств, краткосрочных инвестиций или изменения календарных сроков.

Критерий (20) является наиболее жёстким из всех. Он показывает возможность совместного выполнения комплекса проектов на предприятии в заданные сроки. Если критерий (16) и (19) выполняются, а критерий (20) – нет:

$$\begin{aligned} (PrFinFull = 1) \wedge \\ \wedge (PrResEnough = 1) \wedge \\ \wedge (PrFinFull = 0), \end{aligned} \quad (22)$$

то это говорит о перегрузке ресурсов. Такая ситуация возникает, если одновременно выполняются

несколько проектов, требующих одних и тех же ресурсов. По отдельности каждый проект выполним, но при их одновременном выполнении возникает конфликт из-за ресурсов. Разрешить этот конфликт можно, сдвигая календарные сроки так, чтобы проекты, выполняющиеся одновременно, находились в разных стадиях жизненного цикла. Для моделирования сдвига проекта можно использовать операцию SHFT, введенную формулой (14).

Критерий (19) целесообразно применять при разработке бизнес-плана и укрупнённого календарного плана проекта. Критерий (20) целесообразно применять на этапе разработки детального сетевого графика проекта.

Операции над профилями, введенные выше, позволили нам увязать модели планов проекта в единую модель. Модели профилей (1) – (7), операции над ними (8) – (14) и критерии (15) – (20) несложно реализовать программно. Таким образом, введенные в данной работе модели являются частью математического обеспечения компьютерной системы совокупного планирования проектов.

Заключение

В данной работе решена задача математического моделирования совокупного плана проекта.

Расширен и модифицирован аппарат финансовых профилей проекта. Разработана математическая модель совокупного плана проекта в виде комплекса финансовых и ресурсных профилей проекта. Данная модель позволяет увязать и согласовать между собой ряд планов:

- финансовый план;
- бюджет проекта;
- бюджет движения денежных средств;
- сетевой график проекта;
- план производства;

– план закупок
и другие планы.

Предложены операции над профилями, обеспечивающие возможность перехода на другие уровни управления и горизонты планирования.

Рассмотрен механизм применения предложенных моделей в ходе анализа ресурсного и финансового обеспечения проектов. Сформулированы критерии достаточности и полноты ресурсного и финансового обеспечения в форме логических предикатов.

Предложенная модель может применяться в процессе планирования проекта для анализа его ресурсного и финансового обеспечения, согласования планов проекта с планами предприятия на всех уровнях управления и обеспечения равномерного использования ресурсов по множеству проекта.

Литература

1. Чейз Р.Б., Эквилайн Н.Дж., Якобс Р.Ф. Производственный и операционный менеджмент. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. – 704 с.
2. Дружинин Е.А., Митрахович М.М., Яшина Е.С. Методика оценки реализуемости проекта создания новой техники с учётом влияния динамики финансирования // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ". – 2001. – Вип. 22. – С. 140 – 147.
3. Лисенко Е.В., Яшина О.С. Динамічне моделювання процесів фінансування науково-технічних проектів // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: Нац. аерокосмічний ун-т "ХАІ". – 2003. – Вип. 2 (37). – С. 122 – 127.

Поступила в редакцію 4.05.05

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Э.В. Лысенко, Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», Харьков.