

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБЪЁМНО-КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ ЭКИПАЖА МКС

Лазарев А. А., Петров А. С., Сологуб А. А., Гущина В. П., Морозов Н. Ю.

*Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук,
Москва*

*jobmath@mail.ru, aspetrov_4@edu.hse.ru, sologub10@gmail.com, vg@kvartasoft.ru,
morozov.nikolay@physics.msu.ru*

Среди множества разнообразных задач, возникающих в космонавтике, особое место занимают задачи планирования. Для планирования действий космонавтов необходимы подробные расписания проводимых на МКС работ, а также расписания подготовки космонавтов. На сегодняшний день их разработка требует достаточно большого количества человеческих, временных и материальных ресурсов.

Полная подготовка космонавтов является очень длительным, дорогостоящим и технически сложным процессом. Это комплекс мероприятий, направленных на формирование и поддержание у космонавтов совокупности определенных знаний, навыков и умений, необходимых для надежного и безопасного выполнения программы космического полета и составляющих основу квалификации космонавта.

Предметом деятельности экипажа, согласно принятой в РКК «Энергия» формулировке, являются бортовые комплексы (БК): бортовые системы ПКА, научные эксперименты, полетные операции

По каждому БК космонавт должен обладать определенной квалификацией. Квалификация отражает уровень профессиональной подготовки космонавта по данному БК. Уровню квалификации космонавта по конкретному БК соответствует однозначное подмножество задач по данному БК, которое он может выполнять, по которому он был сертифицирован в процессе подготовки. Квалификация пользователя позволяет выполнять определенный набор задач по определенному бортовому комплексу. Квалификация оператора позволяет выполнять все задачи, предназначенные для космонавта с квалификацией пользователя, а также некоторое множество дополнительных задач. Квалификация специалиста позволяет космонавту выполнять все задачи по данному БК. По разным БК у космонавта может быть разная квалификация.

Проблема задачи объемного планирования может быть смоделирована следующим образом. Должен быть подготовлен экипаж из K космонавтов, $k = \overline{1, K}$, для МКС $K = 3$. Космонавты различаются по опыту e : они могут быть либо опытными ($e = 1$), либо неопытными ($e = 0$). Имеется J бортовых комплексов, $j = \overline{1, J}$, для работы с которыми должны быть подготовлены члены экипажа. Для МКС используются три основные квалификации ($Q = 3$): специалист ($q = 3$), оператор ($q = 2$), пользователь ($q = 1$). Время подготовки космонавта по БК зависит от его опыта и его квалификации по этому бортовому комплексу. Из практики известны средние времена подготовки p_{jqe} космонавта по бортовому комплексу j на квалификацию q . Также имеется n_{jq} — требуемое количество космонавтов по каждому бортовому комплексу j определённой квалификации q . Всё время подготовки ограничено датой старта D .

Пусть $x_{kjq} \in \{0,1\}$ — булева переменная, $x_{kjq} = 1$ тогда и только тогда, когда космонавт k должен получить квалификацию q бортового комплекса j . Также введём функцию суммарного времени подготовки космонавта k

$$\tau_k = \sum_{j,q} p_{jqe} x_{kjq}.$$

Решение задачи должно удовлетворять следующим требованиям:

$$\begin{aligned} \max_k \tau_k - \min_k \tau_k &\rightarrow \min; \\ \sum_q x_{kjq} &\leq 1; \\ \sum_k x_{kjq} &= n_{jq}; \\ \tau_k &\leq D. \end{aligned}$$

Из постановки задачи следует, что задачу можно формулировать разными способами [1].

Для задачи объёмного планирования были разработаны три алгоритма. Идея первого алгоритма состоит в разбиении всей задачи на независимые составляющие по БК и в выборе наилучшего распределения на каждой итерации алгоритма. Второй алгоритм схож с первым, его идея состоит в присвоении наиболее продолжительной подготовки космонавту с наименьшим общим временем подготовки на каждой итерации. Третий алгоритм основывается на методах решения задач целочисленного программирования.

Был проведён сравнительный анализ всех трёх алгоритмов. Наилучшей точностью обладает третий алгоритм, но все равно не гарантируется, что полученные значения являются оптимальными. Очевидные корреляции в распределении работ со средними и малыми длительностями в алгоритмах 2 и 3 не наблюдаются.

Следующим важным этапом планирования подготовки является задача календарного планирования. После того, как решена модель объёмного планирования, для каждого космонавта определен набор БК по которым ему необходимо подготовиться, также заданы необходимые ему квалификации по этим бортовым комплексам. Необходимо распределить план подготовки по времени, минимизировать время подготовки первого экипажа, но при этом соблюсти ресурсные ограничения и директивные сроки подготовки остальных экипажей.

Имеется C экипажей, J этапов подготовки – занятий по БК. Для этапа подготовки известна продолжительность p_j и необходимое количество rc_{jr} ресурса r . Ресурсами являются сами космонавты и специальные тренажёры, необходимые для подготовки. В каждый момент времени $t \in T$ известно количество ra_{rt} доступного ресурса r . Также имеются ограничения в виде графа предшествования между этапами подготовки $G = (J, \Gamma)$, если $(j, j') \in \Gamma$, то этап j должен быть выполнен ранее этапа j' , и графа строгого предшествования $H = (J, \Pi)$, если $(j, j') \in \Pi$, то j' должен быть выполнен сразу же после этапа j .

Необходимо определить моменты времени $S = \{S_1, \dots, S_J\}$ начала выполнения этапов подготовки так, чтобы минимизировать время подготовки первого экипажа и соблюсти все остальные ограничения.

Поставленная выше задача является задачей построения проекта с ограничением на ресурсы (RCPSP). Как известно, такую задачу можно поставить в виде задачи целочисленного программирования.

Библиографический список:

1. Korf, R.E. (2010). Objective functions for multiway number partitioning. In Proceedings of the Third Annual Symposium on Combinatorial Search, SOCS 2010, Stone Mountain, Atlanta, Georgia, USA, July 8-10, 2010.