

Оценивание вариантов технологического графика подготовки и пуска ракет космического назначения в условиях возникновения нештатных ситуаций

Бородько Д.Н.

кандидат технических наук

Каргин В.А.

кандидат технических наук доцент, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Рассматриваются недостатки существующих подходов к оцениванию вариантов технологического графика подготовки и пуска и принятию решений по выходу из нештатных ситуаций. Предлагается способ формализации знаний экспертов о влиянии ресурсов и их взаимосвязей на качество выполнения операций технологического графика.

Ключевые слова: подготовка ракет; пуск ракет; нештатная ситуация; технологический график; технологический процесс.

Введение

Подготовка и проведение пуска ракеты космического назначения (РКН) представляет собой сложный технологический процесс выполнения разветвленного комплекса операций, требующий участия большого числа исполнителей и технологического оборудования [1]. Под воздействием внутренних и внешних возмущающих факторов (отказы техники, ошибки номеров расчета и т.п.) могут возникнуть временные задержки в выполнении запланированного комплекса работ. В этом случае органам управления необходимо принимать оперативные решения, позволяющие парировать эти отклонения для своевременного выполнения задач подготовки и пуска. Основными видами таких решений являются: изменение технологического графика работ, повышение интенсивности труда номеров боевых расчетов, увеличение продолжительности рабочего дня и числа смен в сутки.

Расходование временного ресурса происходит и при подготовке решений для изменения технологического графика подготовки и пуска (ТГ ПП) РКН, в случае возникновения нештатных ситуаций и сокращения сроков подготовки к пуску. Практика показывает, что время, затрачиваемое на выработку управленческих решений, составляет более 20% от общего времени подготовки РКН. Таким образом, необходимо формализовать, а в последующем и автоматизировать управление технологическими процессами при подготовке к пуску РКН

Оценивание качества выполнения операций технологического графика

В общем случае при выработке решения по выходу из нештатной ситуации оцениваются имеющиеся ресурсы, резервы времени, корректируется ТГ ПП. В зависимости от наличия или отсутствия ресурсов, сроков их поставки, возможности выполнения других технологических операций параллельно с устранением последствий может быть выработано несколько вариантов ТГ ПП. Задачей лица, принимающего решения, является оценивание этих вариантов по различным критериям и выбор наилучшего.

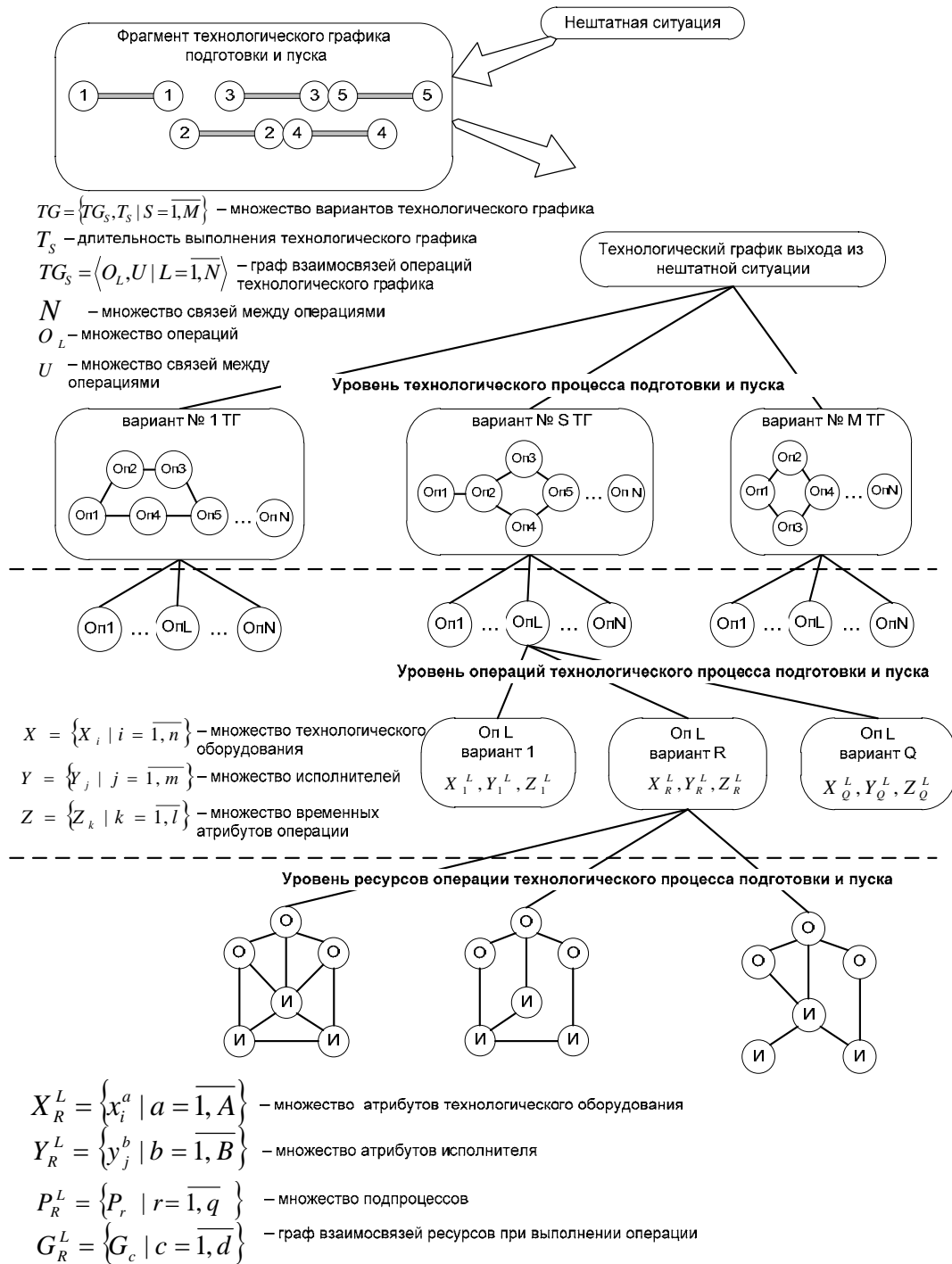


Рис. 1. Модель технологического процесса ПП РКН при возникновении нештатной ситуации

В общем виде совокупность вариантов выполнения ТГ ПП может быть представлена в виде множества (см. рис. 1):

$$TG = \{TG_S, T_S | S = \overline{1, M}\}, \quad (1)$$

где TG_S – S-й вариант технологического графика; T_S – длительность выполнения S-го варианта; M – количество вариантов.

Вариант ТГ ПП представляет совокупность технологических операций и связей между ними и может быть представлен в виде графа:

$$TG_S = (U, O^L | L = \overline{1, N}), \quad (2)$$

где U – множество вершин, характеризующих события начала и окончания операций; O^L – множество дуг, характеризующих операции; N – количество операций.

Каждая операция O^L может быть представлена как совокупность ресурсов и взаимосвязей между ними:

$$O^L = \langle X^L, Y^L, G^L, Z^L \rangle, \quad (3)$$

где X^L – множество технологического оборудования; Y^L – множество номеров боевого расчета; Z^L – множество временных атрибутов операции; G^L – взаимосвязи между ресурсами представленные в виде графа:

$$G^L = \langle (X^L, Y^L), V^L \rangle, \quad (4)$$

где X^L, Y^L – вершины графа; V^L – множество соединяющих дуг.

Различные варианты выполнения операции ТГ ПП подразумевают различные наборы ресурсов и (или) взаимосвязей между ними:

$$O_R^L = \langle X_R^L, Y_R^L, G_R^L, Z^L \rangle, \quad G_R^L = \langle (X_R^L, Y_R^L), V_R^L \rangle, \quad (5)$$

где R – номер варианта выполнения операции O^L технологического графика.

Для оценивания качества выполнения операций предлагается использовать следующие частные показатели:

- показатель уровня готовности ресурсов операции $W_{som}(O_R^L)$, отражающий вероятность успешного выполнения операции имеющимися ресурсами;
- показатель децентрализации структуры взаимосвязей ресурсов операции $W_{дец}(O_R^L)$, отражающий наличие ресурсов, отказ которых приводит к невозможности выполнить большинство подпроцессов операции;
- показатель равномерности задействования ресурсов в выполнении операции $W_{равн}(O_R^L)$, отражающий наличие ресурсов задействованных наиболее интенсивно;
- показатель интенсивности выполнения операции $W_{инт}(O_R^L)$, отражающий степень сокращения времени выполнения операции при повышении интенсивности проведения работ.

Вычисление показателя уровня готовности ресурсов операции $W_{som}(O_R^L)$ производится с применением событийно-логического подхода:

Шаг 1. Вербально-графическое описание вариантов взаимосвязей ресурсов при выполнении операции технологического графика и выделение условий успешного выполнения.

При описании выделяются резервируемые ресурсы (для технологического оборудования) и контролируемые ресурсы (для технического персонала), отказ которых не приводит к срыву выполнения операции. Условия успешного выполнения операции представляют совокупность всех возможных вариантов состояния этих ресурсов.

Шаг 2. Выделение конечного числа бинарных событий и представление их в схеме взаимосвязей ресурсов $G = (X, Y)$ функциональными вершинами $X = \{x_i | i = \overline{1, h}\}$. Под бинарным событием x_i понимается безотказное состояние i -го ресурса. Множество связывающих вершины дуг $Y = \{y_i | i = \overline{1, h}\}$ представляют собой выходные функции событий X .

Шаг 3. Определение выходных функций элементов в сценарии успешного выполнения операции технологического графика: $y=x_i$ для нерезервируемых (неконтролируемых) ресурсов и $y=x_i \vee x_j$ для резервируемых (контролируемых) ресурсов.

Шаг 4. Определение логической функции $Y_c = Y_c(\{y_i | i = \overline{1, h}\})$, описывающей успешное выполнение операции технологического графика.

Шаг 5. Переход от логического Y_c представления выходных функций к вероятностному $P_c = P_c(\{p_i | i = \overline{1, h}\})$ и расчет показателя уровня готовности ресурсов к выполнению операции ТГ подстановкой значений вероятностей безошибочных действий номеров боевого расчета и безотказной работы технологического оборудования.

Вычисление показателей равномерности задействования ресурсов в выполнении операции $W_{\text{равн}}(O_R^L)$ и децентрализации структуры взаимосвязей ресурсов операции $W_{\text{дец}}(O_R^L)$ производится с использованием математического аппарата теории графов и теории множеств [2]:

Шаг 1. Формирование исходных данных. Вариант выполнения операции O_R^L технологического графика подготовки и пуска представляется множеством подпроцессов P_R^L , для выполнения которых задействуются определенное множество ресурсов: исполнители Y_R^L и технологическое оборудование X_R^L . Взаимосвязи между ресурсами и подпроцессами отражаются в виде матрицы Q размерности $n \times m$ элементы которой принимают значение 1 если i -й ($i = \overline{1, n}$) ресурс участвует в j -м ($j = \overline{1, m}$) подпроцессе и 0 если не участвует.

Шаг 2. Определение частоты участия ресурсов при выполнении операции технологического графика подготовки пуска РКН посредством вычисления частотной матрицы отношений $F = [f_{ki}]_{n \times n}$, элементы которой f_{ki} (взаимная частота участия ресурсов) равны числу подпроцессов, в которых участвуют ресурсы k и i ($k \neq i$), f_{ii} (собственная частота участия ресурса) - числу подпроцессов, в которых участвует ресурс i . Матрица F вычисляется с использованием формулы: $F = Q^T \times Q$.

Шаг 3. Определение интенсивности совместного участия ресурсов в выполнении операции технологического графика посредством вычисления матрицы $F' = [f'_{ki}]_{n \times n}$ элементы которой f'_{ki} (интенсивность взаимного участия ресурсов) определяется через отношение $(f_k - f_{ki}) + (f_i - f_{ki})$ частоты их несовместного участия в совокупности подпроцессов к частоте совместного f_{ki} участия:

$$f'_{ki} = \frac{f_k - 2f_{ki} + f_i}{f_{ki}}. \quad (6)$$

Шаг 4. Построение графа G' интенсивности совместного участия ресурсов при выполнении операции технологического графика на основе матрицы F' по следующим правилам:

- если $f'_{ki} = 0$ то ресурсы k и i ($k \neq i$) участвуют в операции только вместе и представляются на графе объединенной вершиной;
- если $f'_{ki} = \infty$ то ресурсы k и i ($k \neq i$) совместно не участвуют в операции и представляются на графе двумя вершинами между которыми нет связей;
- во всех остальных случаях между вершинами графа устанавливаются связи, имеющие весовые значения равные f'_{ki} .

Шаг 5. Определение интенсивности совместного непосредственного и опосредованного участия ресурсов в выполнении операции ТГ посредством построения нечеткого нормированного отношения R на основе графа G' интенсивности совместного участия ресурсов при выполнении операции и вычисления максиминного транзитивного замыкания данного нечеткого отношения $R^* = (E \oplus R)^{n-1}$, где n размерность матрицы R , $E = R^0$ единичная матрица, $(E \oplus R)^k = (E \oplus R)^{k-1} \circ (E \oplus R)$, $\oplus \equiv \max$, $\circ \equiv \max \min$ композиция.

Шаг 6. Вычисление показателя равномерности $W_{равн}$ участия ресурсов при выполнении операции O_R^L технологического графика подготовки и пуска РКН:

$$W_{равн}(O_R^L) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij}^*}{n^2}. \quad (7)$$

Шаг 7. Вычисление показателя децентрализации $W_{дец}$ структуры взаимосвязей ресурсов посредством определения степени связности вершин графа G' :

$$W_{дец}(O_R^L) = 1 - \frac{1}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n [v^* - v_i], \quad (8)$$

где v_i – степень связности вершины i ; $v^* = \max_{i=1, \dots, n} \{v_i\}$ – наибольшая из степеней связности.

Вычисление интенсивности выполнения операции $W_{инт}(O_R^L)$ путем сравнения фактической продолжительности операции, полученной по результатам усреднения значений продолжительности на предшествующих циклах ПП РКН с декларативной продолжительностью, взятой из документации генерального конструктора:

$$W_{инт}(O^L) = 1 - \frac{\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l t_k^L}{T_{декл}^L}. \quad (9)$$

Для снижения размерности решаемой задачи оценивания вариантов выполнения ТГ ПП РКН необходимо осуществить свертку частных показателей и сформировать интегральный показатель качества выполнения операции ТГ ПП РКН. Предлагается использовать комбинированный метод основанный на использовании продукционных моделей представления знаний ЛПР и метода теории планирования эксперимента [3].

Заключение

Таким образом, формируется скалярный показатель, позволяющего лицу, принимающему решения выбрать наиболее приемлемый вариант взаимодействия ресурсов технологического процесса ПП и выйти из нештатной ситуации.

Литература

1. Бородько Д.Н., Каргин В.А., Лазутин О.Г. Автоматизированная система управления подготовкой и пуском ракеты космического назначения как корпоративная информационная система [Текст] // Сб. тр. Всероссийской науч.-практич. конф. «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского. 2012. С. 193–197.
2. Павлов А.Н. Методика построения псевдоуниверсальных сверток лингвистических показателей на основе теории планирования эксперимента // XI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2008). 2008 г.: Сб. докладов. т.1. С. 169–172
3. Павлов А.Н., Соколов Б.В., Сорокин М.В. Анализ структурной динамики комплексной системы защиты информации // Информация и безопасность. 2009. Т. 12. № 3. С. 389–396

Для цитирования:

Бородько Д.Н., Каргин В.А. Оценивание вариантов технологического графика подготовки и пуска ракет космического назначения в условиях возникновения нештатных ситуаций // i-methods. 2015. Т. 7. № 4. С. 5–10.

Assessment methods of technological variants of the schedule of preparation and launch of space rockets in the conditions of emergency situations

Borodko D.N.

candidate of technical Sciences

Kargin V.A.

candidate of technical Sciences, Professor, Military space Academy named after A. F. Mozhaisky, Saint-Petersburg

Abstract

Discusses the flaws of existing approaches to assessment of technology options schedule of preparation and launch of and decision making on exit from abnormal situations. Provides a method for the formalization of expert knowledge about the influence of resources and their relationships on the quality of performance of technological operations schedule.

Keywords: preparation of rockets; missiles launch; emergency situation; technological schedule; engineering procedure.

References

1. Borodko D. N., Kargin V. A., Lazutin, O. G. Automated control system for preparation and launch of a space rocket as a corporate information system [Text] // Proc. Tr. All-Russian scientific.-practical. Conf. "Modern problems of creation and operation of weapons, military and special equipment". SPb.: Military space Academy of A. F. Mozhaisky. 2012. P. 193–197.
2. Pavlov A. N. A method of constructing pseudouniversal bundle of linguistic indicators based on the theory of experiment planning // XI international conference on soft computing and measurements (SCM'2008). 2008: Sat. reports. vol. 1. P. 169–172
3. Pavlov A. N., Sokolov B. V., Sorokin V. M. the Analysis of the structural dynamics of a complex system of information protection // Information and security. 2009. Vol. 12. No. 3. S. 389–396

For citation:

Borodko D.N. Kargin V.A. Assessment methods of technological variants of the schedule of preparation and launch of space rockets in the conditions of emergency situations // *i-methods*. 2015. T. 7. No. 4. p. 5–10.