

УЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ФАКТОРА ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРЕДСТАРТОВОЙ ПОДГОТОВКЕ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ

© С. С. Жук, А. И. Федякин, А. А. Агарков

Державне конструкторське бюро «Південне»

Шляхом математичного моделювання потрібно отримати прогнозоване значення часу пуску ракети-носія при виникненні нештатної ситуації і на його основі прийняти рішення про подальший розвиток дій з передстартових приготувань.

Растущие масштабы человека-машинных автоматизированных систем управления (АСУ), усложнение промышленных технологий предъявляют повышенные требования к противоаварийной устойчивости сложных технологических процессов (ТП). В связи с этим возросла значимость человека-оператора, являющегося ключевым элементом в человеко-машинной компьютерной системе, ответственного за принятие решений в процессе управления ТП.

Подготовка ракеты-носителя (РН) к пуску включает в себя сложные ТП, трудно поддающиеся аналитическому анализу, в частности оптимальному управлению для своевременного выполнения комплекса работ при появлении нештатной ситуации (НШС) из-за практической невозможности проведения активного эксперимента (под нештатной ситуацией понимается потеря работоспособности любого технологического устройства, задействованного в ТП). В связи с этим обычно используется информация, полученная путем анализа статистических данных, которая отражает поведение объекта лишь в узких рамках исследуемых режимов (или подобной информации нет вовсе). Сложность и недостаточная формализуемость задач, решаемых в организационных системах управления, необходимость учета большого числа разнородных факторов вызвали потребность в разработке новых информационных технологий, способных оказывать лицу, принимающему решение (ЛПР), помочь и поддержку для принятия решений при предстартовой подготовке РН. Учитывая вышесказанное, к рассмотрению предлагаются основные этапы построения математической модели принятия решений с учетом технико-экономического риска при предстартовой подготовке РН.

Качество принятия решений находится в прямой

зависимости от полноты учета всех факторов, существенных для последствий от принятых решений.

Творческая составляющая процесса принятия решений состоит:

- в формировании множества G допустимых решений и множества состояний объекта O (наземное технологическое оборудование (НТО) и РН);
- в определении информационной ситуации I , характеризующей стратегию поведения объекта O ;
- в выборе критерия, характеризующего информационную ситуацию I , определенную ЛПР [10];
- в принятии по выбранному критерию оптимального решения.

Формальная составляющая процесса принятия решений заключается в проведении расчетов показателей эффективности для различных моментов времени при возникновении НШС и получения рекомендаций по принятию решений при выбранном критерии.

Расчет критерия представляет собой алгоритм, который определяет для информационной ситуации I единственное оптимальное решение $\alpha_i \in G$. В нашем случае ЛПР сталкивается с вопросом о своевременном выполнении комплекса работ. Методики решения задач о своевременном выполнении комплекса работ подробно описываются и анализируются в работах [2, 5, 8, 9], где есть приближенное математическое описание сетевого планирования при случайных временах выполнения ТП. В нашем случае под своевременным выполнением комплекса работ подразумевается пуск РН в заданный момент времени.

На рис. 1 изображен схематический план расположения критического пути сетевого графика работ относительно стартового окна.

Отрезок $A(\text{КП})$ отображает циклограммное время



Рис. 1. Схематичний план расположения критического пути сетевого графика работ относительно стартового окна

выполнения системы работ. Отрезок F_1F_2 является интервалом времени в котором ожидается запланированное окончание всех ТП, т. е. старт ракеты осуществляется при выполнении условия $F_1 \leq t_{\text{КП}} \leq F_2$. (Прохождение сигнала КП (контакт подъема) говорит о том, что произошел разрыв электрических связей между НТО и РН и оповещает о прекращении предстартовых работ в данный момент времени.) Величины X_1 и X_2 носят случайный характер, где $X_1 = t_{\text{КП}} - t_{\text{min}}$; $X_2 = t_{\text{max}} - t_{\text{КП}}$. Времена t_{min} и t_{max} отображают суммы времен окончания ТП, принадлежащих критическому пути за максимально короткий и максимально долгий сроки выполнения предпусковых работ соответственно. В работе [2] говорится о том, что при случайных изменениях времени выполнения t любого ТП, принадлежащего критическому пути, может изменяться сам критический путь. Такое изменение времени возможно в случае появления НШС. Сетевой график можно формально заменить на алгоритм анализа комплекса работ и использовать последний для оптимизации управления ТП. Оптимизация управления при появлении НШС заключается в выборе наилучшего пути продолжения комплекса работ при подготовке РН к пуску с точки зрения экономического фактора. В нашем случае выбор оптимальной стратегии (в соответствии с информационным состоянием ЛПР, которое формируется с помощью математической модели) состоит в принятии решения из множества $G = \{\alpha_1; \alpha_2\}$ допустимых решений наиболее приемлемого, где α_1 — продолжение предстартовых работ с последующим пуском РН, а α_2 — прекращение предстартовых работ с последующей отменой пуска РН. Модель принятия решений при управлении ТП представлена на рис. 2.

В общем случае процесс принятия решений при появлении НШС представляет собой развитие задачи отыскания кратчайшего (наилучшего) пути выхода из нештатной ситуации в направленной сети с альтернативными маршрутами. Говоря другими словами, для ЛПР целью многошагового процесса принятия решений является перевод управляемого объекта O из начального состояния a^0 в состояние из множества A^N посредством выбора последовательности решений $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ на основе исходных



Рис. 2. Модель принятия решений при управлении ТП

данных и показаний источников информации (датчики и т. п.) в соответствии с критерием принятия решений.

Вероятность события КП (старт ракеты) равна

$$P(t_{\text{КП}}) = \int_{F_1}^{F_2} f(t_{\text{КП}}) dt_{\text{КП}}, \quad (1)$$

где $f(t_{\text{КП}})$ — плотность распределения своевременного выполнения комплекса предстартовых работ в интервале F_1F_2 . Распределение времени выполнения комплекса работ предполагается близким к нормальному [2, 8, 9].

Математическая модель системы комплекса работ ТП, как правило, содержит описание множества возможных состояний системы и описание закона, в соответствии с которым происходит переход из одного состояния в другое. Каждое состояние может быть охарактеризовано численным значением одного или нескольких параметров системы. В зависимости от этого пространство состояний является соответственно скалярным или векторным [4].

Представим выход из НШС в виде технологического процесса со следующими параметрами его выполнения: $t_{\text{min}}^{\text{НШС}}$ — минимальное время выхода из НШС и $t_{\text{max}}^{\text{НШС}}$ — максимальное время выхода из НШС. Величина $t_{\text{НШС}}$ (ожидаемое время выхода из НШС при $t_{\text{min}}^{\text{НШС}} \leq t_{\text{НШС}} \leq t_{\text{max}}^{\text{НШС}}$) вносит изменение в плотность распределения вероятностей времени свершения завершающего события (см. рис. 3).

Степень влияния времени выхода из нештатной ситуации отобразим в виде матрицы $m \times n$:

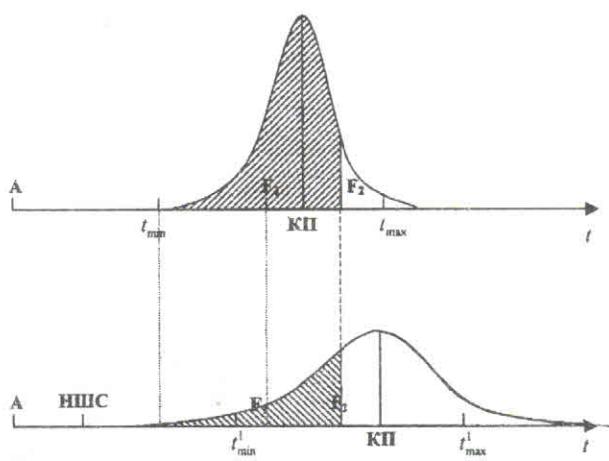


Рис. 3. Плотность распределения вероятностей времени свершения завершающего события

	F_1	$F_1 + \Delta$	$F_1 + 2\Delta$...	F_2
t	p_{11}	p_{12}	p_{13}	...	p_{1n}
$t + \Delta$	p_{21}	p_{22}	p_{23}	...	p_{2n}
$t + 2\Delta$	p_{31}	p_{32}	p_{33}	...	p_{3n}
...
$t + n\Delta$	p_{n1}	p_{n2}	p_{n3}	...	p_{nn}

Здесь p_{ij} — вероятность пуска РН в интервале времени F_1F_2 в случае возникновения НШС ($i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$); t — время выхода из НШС; Δ — коэффициент дискретизации.

Таким образом, учитывая влияние случайной величины (время выхода из НШС) вероятность пуска РН (1) трансформируется к следующему виду:

$$P(t_{\text{КП}}^{\text{НШС}}) = \int_{F_1}^{F_2} f(t_{\text{КП}}) dt_{\text{КП}} P_{\text{TC}}(t) + \\ + \int_{F_1}^{F_2} f(t_{\text{КП}} + t_{\text{НШС}}) d(t_{\text{КП}} + t_{\text{НШС}})(1 - P_{\text{TC}}(t)), \quad (2)$$

где $P(t_{\text{КП}}^{\text{НШС}})$ — вероятность [3], характеризующая старт РН в интервале времени F_1F_2 ; $f(t_{\text{КП}} + t_{\text{НШС}})$ — плотность распределения своевременного выполнения комплекса предстартовых работ в случае появления НШС; $P_{\text{TC}}(t)$ — вероятность безотказной работы технической системы (включая безошибочную работу оператора-технолога (ОТ)) в течение времени $t \geq F_2$ [6]. Выражение (2) справедливо в случае, если на протяжении предстартовой подготовки ожидается появления только одной НШС. Величина $t_{\text{НШС}}$ напрямую связана с объемом работ w и производительностью труда b . Типичным распределением времени $t_{\text{НШС}}$ является функция своевременности, плотность распределения которой име-

ет вид [6]

$$f(t_{\text{НШС}}) = \frac{c\beta}{t^2 \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\beta}{t_{\text{НШС}}} - \alpha \right)^2 \right]; \\ \alpha = m_b / \sigma_b; \quad \beta = w / \sigma_b,$$

где α — относительная средняя производительности труда; β — относительный объем работ; c — нормирующий множитель, равный

$$c = \frac{1}{\varphi(u_2) - \varphi(u_1)};$$

$$u_1 = \frac{\beta}{t_{\text{max}}^{\text{ВНО}}} - \alpha; \quad u_2 = \frac{\beta}{t_{\text{min}}^{\text{ВНО}}} - \alpha,$$

откуда $\varphi(u_i)$ — нормированная функция Лапласа.

Затраты на предстартовую подготовку являются функцией времени и могут быть определены по формуле

$$D(t) = D_0 + \sum_{i=0}^{t_{\text{КП}}} D_{03}(t_i),$$

где D_0 — начальные затраты (стоимость НТО и РН); $D_{03}(t_i)$ — оперативные затраты (персонал и расходные материалы) на конец t_i -го интервала времени выполнения ТП.

На рис. 4 изображены функции затрат, где 1 отображает затраты в случае благополучного пуска РН; 2 отображает затраты в случае появления НШС при принятии решения ЛПР о продолжении работ; 3 отображает затраты в случае появления НШС при принятии решения ЛПР о переносе пуска РН.

Из рис. 4 следует, что вариант функции затрат 2 относительно функции затрат 3 более предпочтителен экономически, но вероятность окончания предстартовой подготовки РН в заданное время разная.

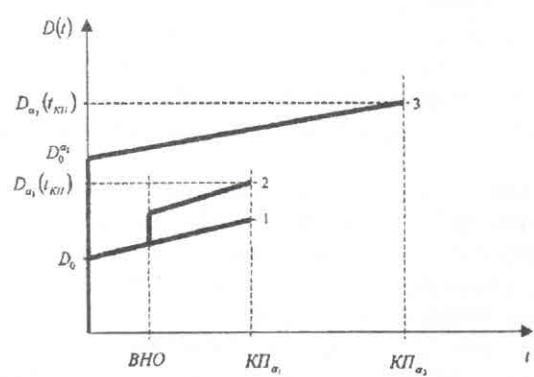


Рис. 4. Функции затрат: 1 — затраты в случае благополучного пуска РН; 2 — в случае появления НШС при принятии решения ЛПР о продолжении работ; 3 — в случае появления НШС при принятии решения ЛПР о переносе пуска РН

№	Название процедуры
1	При появлении НШС необходимо определить состояние системы комплекса работ
2	Установить причину НШС
3	Сделать анализ о возможности устранения причины НШС на текущий момент времени
4	Определить время устранения причины НШС
5	Провести анализ состояния системы комплекса работ на момент устранения причины НШС
6	Выбрать с помощью критерия оптимальное решение продолжения работ

Так как ракетная техника требует больших экономических затрат на ее эксплуатацию, то в качестве критерия принятия решения примем технико-экономический риск, величину которого определим как [7]

$$R(\alpha_i) = [1 - P(t_{\text{кп}}^{\text{НШС}})] D_{\alpha_i}(t_{\text{кп}}),$$

где $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_j\} \in G$ — область допустимых решений.

Решение будем принимать из условия $\min\{R(\alpha_i)\}$.

В заключение отметим, что решение нужно принимать не ранее, чем это необходимо, чтобы обеспечить наиболее высокий уровень информативности, т. е. придерживаться «принципа минимальной заблаговременности» [1]. В общем случае, не претендуя на полноту, можно указать следующие наиболее часто встречающиеся ситуации, требующие вмешательство ЛПР:

- появление НШС;
- нарушение выполнения сетевого графика предстартовых работ, что влечет за собой принятие решений о форсировании работ (форсирование работ — уменьшение времени выполнения ТП путем

вложения дополнительных средств);
в) возникновение как первого, так и второго из перечисленных выше событий.

Алгоритм процесса принятия решений при предстартовой подготовке РН удобнее всего реализовать в виде диалоговых процедур с применением ЭВМ (таблица).

- Беляев Л. С. Решение сложных оптимизационных задач в условиях неопределенности. — Новосибирск: Наука, 1978.
- Вентцель Е. С. Исследование операций. — М.: Сов. радио, 1972.
- Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Наука, 1988.
- Волков И. К., Загоруйко Е. А. Исследование операций. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.
- Дедков В. К., Северцев Н. А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. — М.: Высшая школа, 1976.
- Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных систем. — М: Энергия, 1977.
- Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. — М.: Мир, 1990.
- Разумов И. М., Белова Л. Д., Ипатов М. И., Прокуряков А. В. Сетевые графики в планировании. — М.: Высшая школа, 1967.
- Сетевое планирование и управление / Под ред. Д. И. Голенко, В. В. Кирилова. — М.: Экономика, 1967.
- Трухаев Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. — М: Наука, 1981.

INCLUSION OF THE ECONOMIC FACTOR FOR MAKING A DECISION IN THE PRE-LAUNCH PROCEDURE OF A LAUNCHER

S. Zhuk, A. Fedyakin, A. Agarkow

With the use of a mathematical model, it is required to obtain predictive time value of the start of a launcher when a critical situation takes place and on this base to make a decision concerning further development of actions for the pre-launch procedure.