

Методический подход к оптимизации управления предстартовой подготовкой средства выведения на космодроме по критерию надежности

Клюшников В.Ю.

к.т.н., старший научный сотрудник

Каширин А.Д.

ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», г. Королев, Московская обл.

Аннотация

Предложен методический подход к оптимизации гибкого управления предстартовой подготовкой средства выведения на космодроме по критерию надежности. Приведена формальная постановка задачи оптимизации и предложен способ ее решения, основанный на результатах мониторинга предыдущих этапов подготовки к пуску.

Ключевые слова: оптимизация управления; предстартовая подготовка; средства выведения; технологический процесс; полезная нагрузка.

Введение

В настоящее время по ряду причин, связанных, в том числе с прогрессирующим моральным и физическим устареванием производственных мощностей, падением уровня подготовки специалистов, снижением технологической дисциплины и т.д., на первый план выходит проблема обеспечения надежности ракетно-космической техники (РКТ). Видимо, эта проблема будет и дальше обостряться, в частности, по мере усложнения техники и решаемых ею задач. Предстартовая подготовка – это тот последний этап, на котором можно еще что-то исправить, принять правильные решения, предотвратить аварию или катастрофу. В связи с этим актуальной является задача гибкого, оптимального по критерию надежности выполнения задач пуска, управления предстартовой подготовкой средств выведения (СВ) к запуску космических аппаратов (КА) на орбиту.

Задача может быть поставлена следующим образом:

$$F(RM, U) \rightarrow \max P_{\text{подг}} \quad (1)$$

$$T \leq T_{\max}, C \leq C_{\max} \quad (2)$$

где RM – множество результатов мониторинга процессов производства, транспортирования и предшествующих этапов подготовки СВ к пуску;

U – множество управляющих воздействий на технологический процесс предстартовой подготовки СВ;

F – оператор, отображающий множества RM и U в множество значений вероятности успешной подготовки СВ к пуску;

T, T_{\max}, C, C_{\max} – соответственно время, максимально допустимое значение времени, стоимость и максимально допустимое значение стоимости подготовки СВ к пуску.

Необходимо для выражения (1) построить оператор F , максимизирующий значение вероятности успешной подготовки СВ к пуску, при одновременном выполнении ограничений (2).

Технологический процесс предстартовой подготовки СВ может быть описан в виде сетевой модели [1]:

$$G = (V, A), \quad (3)$$

где V – множество событий;

$|V| = r$ – мощность множества V ;

A – множество дуг (операций по предстартовой подготовке СВ, включая пневмоиспытания, электропроверки, монтажно-сборочные операции и др.);

$|A| = n$ – мощность множества A .

Для каждой дуги заданы продолжительность операции t_{ij} , т.е. дано множество $T = \{t_{ij} \mid (i, j) \in A\}$, а также ее стоимость c_{ij} : $C = \{c_{ij} \mid (i, j) \in A\}$.

Множество управляющих воздействий на технологический процесс предстартовой подготовки СВ U представляет собой объединение трех подмножеств операций:

$$U = A_{доп} \cup A_{искл} \cup A_{изм}, \quad (4)$$

где $A_{доп}$ – подмножество операций, введенных дополнительно в технологический процесс предстартовой подготовки СВ;

$A_{искл}$ – подмножество операций, исключенных из технологического процесса предстартовой подготовки СВ;

$A_{изм}$ – подмножество операций, измененных (модифицированных) в технологическом процессе предстартовой подготовки СВ.

На каждом шаге (событии) технологического процесса предстартовой подготовки формируется текущее управление $U_{ij} \in U$.

На протяжении жизненного цикла каждого конкретного СВ осуществляется мониторинг, в результате которого формируется множество $RM = \{v_k, k = 1, 2, \dots, m\}$. В множество RM входят нештатные события, не предусмотренные инструкциями и технологическим процессом, а также события, заключающиеся в отказах в ходе предстартовой подготовки СВ, влияющие на вероятность успешной подготовки СВ к пуску.

Для каждого события $v_k \in RM$ задана вероятность q_k успешной подготовки СВ к пуску в том случае, если последствия события v_k не будут скомпенсированы (парированы) управлением $U_{p,l} \in U$.

Текущее управление U_{ij} формируется на основе множества RM с учетом этапа предстартовой подготовки (v_i, v_j, a_{ij}) :

$$U_{ij} = \mathfrak{R}(v_i, v_j, a_{ij}, RM), \quad (5)$$

где \mathfrak{R} – оператор, отображающий множество RM на этапе предстартовой подготовки (v_i, v_j, a_{ij}) в текущее управление U_{ij} .

Текущее управление U_{ij} в общем случае не единственно и может быть сформировано несколькими различными способами. Реализовано же должно быть управление U_{ij} , при котором достигается максимума значение вероятности успешной подготовки СВ к пуску (1) и выполняются ограничения (2).

Схему выработки управляющего воздействия на процесс предстартовой подготовки СВ можно представить следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Схема управления подготовкой СВ к пуску

Оптимизация управления предстартовой подготовкой СВ может быть осуществлена методом последовательного анализа вариантов (ПАВ) [2]. По методу ПАВ текущее управление $U_{ij} \in \{A_{доп} \cup A_{искл}$

$\cup A_{изм} \cup \emptyset$ может быть полным, частичным и допустимым частным решением задачи (1), - в зависимости от значения вероятности $P_{подг}$ и выполнения ограничений (2).

Оператор F реализует пошаговое конструирование частичных решений. При выборе частичных решений используются так называемые элиминирующие тесты: ξ_0 – тест анализа допустимости решений, исходя из выполнения ограничений (2); ξ_1 – тест сравнения допустимости решений по значению вероятности $P_{подг}$.

В силу конечности множества решений и присутствия тестов ξ_0 , ξ_1 , последовательность решений задачи сходится за конечное число шагов к множеству оптимальных (1). На каждом последующем шаге текущее управление U_{ij} пересчитывается.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе определены основные принципы и подходы к решению задачи синтеза управления предстартовой подготовкой СВ на космодроме, оптимального по критерию надежности выполнения задач пуска. Результаты работы могут быть положены в основу дальнейших исследований по повышению качества и надежности системы управления технологическим процессом подготовки изделий РКТ к запуску КА.

Список литературы

1. Основы эксплуатации объектов космической инфраструктуры. Том 2. Теоретические основы эксплуатации объектов космической инфраструктуры. Книга 3 // Под ред. Кузнецова А.Н., Санкт-Петербург: ВКА имени А.Ф.Можайского. 2003. 404 с.
2. Ковалев М.М. Дискретная оптимизация. Целочисленное программирование. М.: 2003 г. 192 с.

Для цитирования:

Клюшников В.Ю., Каширин А.Д. Методический подход к оптимизации управления предстартовой подготовкой средства выведения на космодроме по критерию надежности // i-methods. 2011. Т. 3. № 1. С. 5–7.

Methodical approach to optimizing the control of pre-launch preparation launch vehicles at the spaceport by reliability

Klyushnikov V.Yu.

Ph.D., senior researcher

Kashirin A.D.

FSUE "Central research Institute of machine building", Korolev, Moscow region

Abstract

The methodical approach to optimization of adaptive management pre-launch preparation launch vehicles at the spaceport by the reliability criterion. The formal statement of the optimization problem and proposed a solution based on the monitoring results of the previous stages of preparing for launch.

Keywords: management optimization; prelaunch; launch vehicle; technological process; payload.

References

1. Fundamentals of operation of objects of space infrastructure. Volume 2. Theoretical fundamentals of operation of objects of space infrastructure. Book 3 // Under the editorship of A.N. Kuznetsova, Saint-Petersburg military space Academy of A.F. Mozhaysky. 2003. 404 p.
2. M. M. Kovalev, Discrete optimization. Integer programmability. M.: 2003, 192 p.

For citation:

Klyushnikov V.Yu. Kashirin A.D. Methodical approach to optimizing the control of pre-launch preparation launch vehicles at the spaceport by reliability // i-methods. 2011. Vol. 3. No. 1. Pp. 5–7.